



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise ja selle kontrolli võimekuse tõstmine

Lõplik uuringu tulemuste analüüs ning määruse eesmärgipärase
rakendamise peamiste ohtude täpsustamine

15 juuni 2010

Mõisted

Käesolevas uurimistöös kasutatakse üldmõisteid järgmises tähenduses:

- 1) Aknaklaasi päikeseläbivus tegur – suhe, mis näitab, kui suur osa päikesekiirguse energiast läbib klaasi ja kandub soojusülekande teel ruumi.
- 2) vabasoojus – hoonesse sisenev päikesekiirgus, inimeste ja seadmete ning tehnosüsteemide soojuseraldused;
- 3) energiatõhususarv – arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel;
- 4) erikasutus – aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone köetava pinna ruutmeetri kohta [$\text{kWh}/(\text{a m}^2)$];
- 5) hoone standardkasutus – hoone tavapärane kasutus energiatõhususe miinimumnõuete kontrollimiseks. Standardkasutuse kindlaksmääramisel võetakse arvesse hoone kasutamise otstarvet, välis- ja sisekliimat, hoone ja tehnosüsteemide kasutusaega, vabasoojust ning hoone õhupidavuse lähteandmeid;
- 6) kasutusprofiil – ruumi kasutusaste valgustuse, seadmete ja inimeste soojuseralduse suhtena maksimaalsesse soojuseraldusse;
- 7) kohalolekuprofiil – inimeste kohaloleku ja vastava valgustuse ja seadmete kasutuse suhe maksimaalsesse soojuseraldusse;
- 8) netoenergiavajadus ruumide jahutamiseks – ruumide jahutamiseks vajalik soojusenergia;
- 9) netoenergiavajadus ruumide kütteks – ruumide kütteks vajalik soojusenergia, arvestades välispiirete soojajuhtivuskadusid, välispiirete ebatihedustest (infiltratsioonist) tulenevaid soojakadusid ja ruumi sissepuhutava ventilatsiooniõhu soojenemist ruumitemperatuurini;
- 10) primaarenergia – ühe kilovatt-tunni tarnitud energia tootmiseks vajalik esmane energiahulk taastuvatest ja mittetaastuvatest energiaallikatest, mis sisaldab kõiki energiaallika ammutamise, energia tootmise, ülekande ja jaotamise kadusid;
- 11) määrus - Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määruse nr 258 "Energiatõhususe miinimumnõuded".

SISUKORD

1 SISSEJUHATUS

- 1.1 Üldist
- 1.2 Projekti taust
- 1.3 Vabariigi valitsuse määrus nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“
- 1.4 Probleemi kirjeldus
- 1.5 Uuringu eesmärk ja projekti raames läbi viidavad tegevused

2 HETKEOLUKORRA ANALÜÜS NING MÄÄRUSE EESMÄRGIPÄRASE RAKENDAMISE PEAMISTE OHTUDE TÄPSUSTAMINE

- 2.1 Energiaarvutuste kontrollanalüüs
- 2.2 Kontrollarvutused
 - 2.2.1 Narva linn, Kangelaste pst 29
 - 2.2.2 Narva linn, Kangelaste pst 29 tulemuste hinnang
 - 2.2.3 Tallinn, Lasnamäe, Kivimurru tn 34
 - 2.2.4 Tallinn, Lasnamäe, Kivimurru tn 34 tulemuste hinnang
- 2.3 Kontrollarvutuste kokkuvõte

3 BV2 KONTROLLANALÜÜS JA LÄHTEÜLESANDE PÜSTITUS

- 3.1 Arvutusprogrammide lühitutvustus
 - 3.1.1 BV2
 - 3.1.2 Riuska
 - 3.1.3 VIP energy
 - 3.1.4 BSim
 - 3.1.5 IDA ice
- 3.2 BV2 kontrollanalüüsi teostamise põhimõte
- 3.3 Büroohoone
 - 3.3.1 Büroohoone lähteandmed
 - 3.3.2 Büroohoone arvutuste tulemused
 - 3.3.3 Järeldused büroohoone arvutuste kohta
 - 3.3.4 Vabasoojuste mõju ruumide kütte-ja jahutusenergiale
 - 3.3.5 Otsese päikesekiirguse mõju ruumide kütte-ja jahutusenergiale
 - 3.3.6 Järeldused büroohoone täiendava analüüsi kohta
 - 3.3.7 Tsoonide mõju energiatõhususe arvutustulemustele
- 3.4 Koolimaja
 - 3.4.1 Koolimaja lähteandmed
 - 3.4.2 Koolimaja arvutuste tulemused
 - 3.4.3 Järeldused koolimaja arvutuste kohta
- 3.5 Hotell
 - 3.5.1 Hotelli lähteandmed
 - 3.5.2 Hotelli arvutuste tulemused
 - 3.5.3 Järeldused hotelli arvutuste kohta
- 3.6 Võimla
 - 3.6.1 Võimla lähteandmed
 - 3.6.2 Võimla arvutuste tulemused
 - 3.6.3 Võimla arvutuste järeldused

3.7 Spordihoone

3.7.1 Spordihoone arvutuste tulemused

3.7.2 Spordihoone arvutuste järeldused

3.7.3 Võimla ja spordihoone tulemuste võrdlus

3.8 Soojapidav hoone

3.8.1 Soojapidava hoone lähteandmed

3.8.2 Soojapidava hoone arvutuste tulemused

3.9 Büroo, koolimaja, hotelli ja soojapidava hoone võrdlus

3.9.1 Arvutuste lähteandmed

3.9.2 Tulemused

3.9.3 Büroo, koolimaja, hotelli ja soojapidava hoone võrdluse järeldused

3.10 Suure klaaspinnaga fassaadi ja orientatsiooni mõju hoone energiatarbele

3.10.1 Arvutuste lähteandmed

3.10.2 Orientatsiooni mõju arvutuste tulemused ja järeldused

3.11 Lasteaed

3.11.1 Lasteaia arvutuste lähteandmed

3.11.2 Lasteaia arvutuste tulemused ja järeldused

3.12 Ventilatsiooni analüüs

3.12.1 Lähteandmed

3.12.2 Tulemused

3.12.3 Õhuvooluhulkade mõju

3.12.4 Sissepuhkeõhu temperatuuri mõju

3.12.5 Ventilatsiooni analüüsi järeldused

3.12.6 Väliskliima andmete mõju

3.12.7 Väliskliima andmete mõju järeldused

3.12.8 Ventilatsiooni tagastita spordihoone, ventilatsioon töötab öisel või päevasel perioodil

3.12.9 Ventilatsiooni tagastita spordihoone, ventilatsioon töötab 24 tundi ööpäevas ja 7 päeva nädalas

3.13 Kokkuvõtte võrdlusarvutustest

4 ETTEPANEKUD JA SOOVITUSED

4.1 Olulisemad probleemid

4.2 Riiklik tasand

4.2.1 Juhendmaterjalid ja koolitused

4.2.2 Võimalikud tulevikustsenaariumid olukorra parandamiseks

4.3 BV2 autoritele

4.4 Projekteerijatele

5 KOKKUVÕTE

5 SUMMARY

KASUTATUD KIRJANDUS

1 Sissejuhatus

Uurismistöö sissejuhatavas osas käsitletakse projekti tausta, esitletakse probleemi kirjeldus ja püstitatakse projekti eesmärk ning nimetatakse projekti raames teostatavad tegevused,

1.1 Üldist

Käesolev aruanne on koostatud EKVÜ, Kliimakonsult OÜ ja TTÜ vahel 08.01.10 sõlmitud teenuse osutamise lepingu raames ja on tulemuste analüüs projektist nr 1.5.0107.09-004 „Energiatehnikuse miinimumnõuete ja selle kontrolli võimekuse tõstmine“.

Uuringu valmimisele olid toeks mitmed inimesed. Järgnevalt toodud nimed, tänu kelle panusele käesolev uuring valminud on.

Hendrik Voll Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, dotsent.

Teet Tark Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, välislektor.

Erkki Seinre Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, doktorant.

Mikk Maivel Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, doktorant.

Kalle Kuusk Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, doktorant.

Indrek Raide Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, magistrant.

Andres Loorits Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, magistrant.

Madis Loit Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, magistrant.

Kaia Eichler Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, magistrant.

Monika Sergejeva Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, kütte ja ventilatsiooni õppetool, magistrant.

Mark Laas Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Keskkonnatehnika instituut, keskkonnakorralduse õppetool, magistrant.

Urmas Saksakulm Kliimakonsult OÜ juhataja.

Janne Kurg Tehnilise Järevalve Amet Ehitus ja elektriosakonna juhataja

Ahto Tuuling Tehnilise Järevalve Amet elektriosakonna peaspetsialist

Paavo Ruzitš Tehnilise Järevalve Amet Ehitus- ja elektriosakonna peaspetsialist

Olev Loo Tehnilise Järevalve Amet Ehitus- ja elektriosakonna peaspetsialist

1.2 Projekti taust

Euroopa Liidu liikmelisusest tulenevalt peab Eesti Vabariik üle võtma energiatõhusust käsitlevad EL õigusaktid ja tagama olemasolevates hoonetes energia efektiivsema kasutuse. Tõhus energiakasutus muutub järjest olulisemaks ka seoses energeetiliste ressursside hinnatõusu ja taastumatute kütuste ressurssi vähenemisega. Oluliseks teeks energiaprobleemide lahendamisel on hoonete energeetilise efektiivsuse tõstmine (energiakasutuse vähendamine). Sellest tulenevalt on Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium seadnud eesmärgiks kõigi olemasolevate hoonete energiatõhususe oluline parandamine 2025 aastaks. Kavandatud meetmed peavad olema kuluefektiivsed, teostatavad ja põhjendatud, et saavutada energia lõpptarbimise tõhusust käsitlevast Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiivist 2006/32/EÜ¹ tulenevate kohustuste täitmine. Nimetatud dokumendis on muuhulgas seatud eesmärgiks vähendada energiatarbimist järgneva 9 aasta jooksul 9% võrrelduna 2000-2005 a. keskmise energiatarbimisega. Hoonete energiatarve moodustab üle 40% üldisest energiatarbest Eestis, millest omakorda 63% moodustab kortermajade ja avalike hoonete energiatarve. Seega peitub nimetatud valdkonnas märkimisväärne potentsiaal energiasäästuks.

Alates 2009. aasta 1.juulist jõustus Eesti Vabariigis täies mahus ja ulatuses peamine, uute või oluliselt rekonstrueeritavate hoonete, energiatõhususe eesmärkide saavutamisele suunatud Vabariigi Valitsuse määrus nr 258 20.12.2007.a. „Energiatõhususe miinimumnõuded“.

1.3 Vabariigi Valitsuse määrus nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“.

Vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 ”Energiatõhususe miinimumnõuded” on kehtestatud hoone summaarsele energiakasutusele ja on tehniliselt väljendatud kahe põhinäitajaga:

1. energiatõhususarvuga, mis iseloomustab hoone summaarset energia erikasutust;
2. suviste temperatuuride nõudega, mis iseloomustab hoone sisekliimat suveperioodil.

Neid kahte põhinäidet täiendavad üldised nõuded hoone välispiiretele, tehnosüsteemidele ja energiavarustusele.

Energiatõhususarv sisaldab hoone kompleksset summaarset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme ja muude elektriseadmete kasutamiseks. Summaarne energiakasutus moodustub praktiliselt kogu hoone tehnosüsteemide poolt kasutatavast energiast koos nende väheste eranditega, mis on kehtestatud määruse arvutusreeglites. Tehnosüsteemide all mõistetakse määruses kütte-, ventilatsiooni-, jahutus- ja elektrisüsteeme. Hoones või kinnistul paiknevaid energiavarustussüsteeme ning automaatika- ja valgustussüsteeme käsitletakse eelnimetatud tehnosüsteemide koosseisus.

¹ 19. mail 2010 võttis Euroopa Parlament ja Nõukogu vastu uue hoonete enegiatõhususe direktiivi 2010/31/EU, mis seab hoonete energiatõhususele varaesamast direktiivist oluliselt rangemad nõuded

Summaarse energiakasutuse arvutusel lähtutakse ruumide netoenergiavajadusest kütmiseks, ventilatsiooniks, jahutuseks, valgustuseks ja muude elektriseadmete kasutamiseks. Arvutuses võetakse arvesse tehnosüsteemide kaod soojusenergia tootmisel ja jaotamisel ruumidesse ning tehnosüsteemide elektriseadmete elektritarbimine. Soojus- ja elektrienergia tootmise all mõeldakse siinjuures hoones või kinnistul toimuvat tootmist (katlad, soojuspumbad, kaugkütte soojusvahetid, päikesepatareid, tuuleturbiinid jne.). Kui hoones toodetakse energiat energiavõrkudesse müügi eesmärgil, siis müüdud energiakogust ja sellele vastavat tootmist energiaarvutuses arvesse ei võeta.

Summaarne energiakasutus annab võimalikult täpse ülevaate hoone tegelikust energiakasutusest ja keskkonnamõjudest. Miinimumnõuete kehtestamine ja hoonete energiaatõhususe omavaheline võrdlemine eeldab, et summaarne energiakasutus antakse hoone köetava pinna kohta. Kuna hoonete energiakasutus sõltub oluliselt hoone kasutusaegadest ja –intensiivsusest (erinevatest soojuslikest ja elektrilistest koormustest), arvutatakse summaarne energiakasutus hoone standardkasutusel. Viimasega fikseeritakse suurem osa energiaarvutuse lähteandmetest, kuna need võivad praktikas muutuda nii samas hoones kui sama tüüpi hoonete kasutusel. Need lähteandmed, mida standardkasutusega ei ole võimalik fikseerida, saadakse hoone projektdokumentatsioonist. Köetava pinna kohta arvutatud energiakasutus hoone standardkasutusel võimaldab sama tüüpi hoonete energiaatõhususe omavahelise objektiivse võrdluse. Sama meetodikat kasutatakse ka energiamärgise arvutuseks.

Energiaatõhususarv, mis on summaarse energia erikasutuse põhinäitaja, võtab teataval määral arvesse primaarenergia kasutuse ja CO₂ -heitmed. Primaarenergia all mõeldakse siin ühe ühiku tarnitud energia (näit. 1 kWh elektri või soojuse) tootmiseks vajalikku esmast energiahulka koos kõigi kadudega tootmises ja transpordis. Energiaatõhususarvu kehtestamisel on lähtutud Ehitiste energiaatõhususe direktiivi põhimõtetest, mis rõhutavad primaarenergia ning CO₂ -heitmete põhise regulatsiooni tähtsust, majandusliku efektiivsuse põhimõtet ja hea sisekliima olulisust.

Ehitatavate hoonete energiaatõhususarv ei tohi ületada järgmisi piirväärtusi köetava pinna kohta:

1. väikemajades (sh paarismajad ja ridaelamud) 180 kWh aastas ruutmeetri kohta;
2. korterelamutes 150 kWh aastas ruutmeetri kohta;
3. büroo- ja administratiivhoonetes 220 kWh aastas ruutmeetri kohta;
4. ärihoonetes, hotellides, muudes majutus- ja toitlustushoonetes ning kaubandus- ja teenindushoonetes 300 kWh aastas ruutmeetri kohta;
5. avalikes hoonetes ja meelelahutushoonetes 300 kWh aastas ruutmeetri kohta;
6. haridus- ja teadushoonetes (välja arvatud õpilaste ühiselamutes, raamatukogudes ja kliinikutes) 300 kWh aastas ruutmeetri kohta;
7. tervishoiuhoonetes 400 kWh aastas ruutmeetri kohta;
8. siseujulates 800 kWh aastas ruutmeetri kohta.

Oluliselt rekonstrueeritava hoone energiaatõhususarv ei tohi ületada järgmisi piirväärtusi:

- väikemajades (sh paarismajad ja ridaelamud) 250 kWh aastas ruutmeetri kohta;
- korterelamutes 200 kWh aastas ruutmeetri kohta;
- büroo- ja administratiivhoonetes 290 kWh aastas ruutmeetri kohta;

- ärihoonetes, hotellides, muudes majutus- ja toitlustushoonetes ning kaubandus- ja teenindustushoonetes 390 kWh aastas ruutmeetri kohta;
- avalikes hoonetes ja meelelahutushoonetes 390 kWh aastas ruutmeetri kohta;
- haridus- ja teadushoonetes (välja arvatud õpilaste ühiselamutes, raamatukogudes ja kliinikutes) 390 kWh aastas ruutmeetri kohta;
- tervishoiuhoonetes 520 kWh aastas ruutmeetri kohta;
- siseujulates 1000 kWh aastas ruutmeetri kohta.

Energiaarvutuste kontrolliks kasutatav sobiliku tarkvara valikul tuleb lähtuda Vabariigi Valitsuse määrus nr 258 20.12.2007.a. „Energiaatõhususe miinimumnõuded“ § 36. Lg1 p1-6 ja lg 2 nõuded arvutustarkvarale esitatud järgmistest nõudmistest:

Energiaarvutuseks kasutataval arvutustarkvaral on järgmised omadused:

- 1) hoone soojuslevi dünaamiline arvutus;
- 2) kliimaprotsessor, millesse on võimalik lugeda Eesti energiaarvutuse baasaastat selle originaaldetailsusega ja mis arvutab tundide lõikes päikesekiirguse pindadele ja varju jäävad alad;
- 3) ventilatsioonisüsteemi soojustagastuse modelleerimise võimalikkus ja soovituslikult ventilatsiooni-, kütte- ja jahutussüsteemide modelleerimise võimalikkus nende põhikomponentide ja -funktsioonide osas (nt soojusvaheti jäätumise kontrolli, jahutuspatarei kondensaadi arvesse võtmise);
- 4) tõeliste ruumitemperatuuride kasutamine arvutuses ja soovituslikult juhtgraafikute modelleerimise võimalus (nt ventilatsiooni soojusülekande arvutus vastavalt muutuvale ruumitemperatuurile koos soojustagastuse ja sissepuhketemperatuuri juhtimisega);
- 5) võimalus sisestada energiaarvutuse lähteandmeid vastavalt määruse peatükkidele 3 ja 4;
- 6) arvutustarkvara peab olema valideeritud vastavalt asjakohasele standardile.

Energiaarvutuseks võib kasutada kõiki eelnevatele nõuetele vastavaid arvutustarkvarasid [1].

Teise energiaatõhususe miinimumnõudega, suviste sisetemperatuuride piirväärtusega välditakse ruumide ülekuumenemist, mida soodustavad suured klaaspinnad ja soojuskoormused. Kuigi meie kliimas jääb jahutusenergia osa summaarses primaarenergiakasutuses suhteliselt tagasihoidlikuks, on direktiivi jäigast positsioonist lähtudes kehtestatud ruumide ülekuumenemise vältimise nõue kõikidele rakendusalasle jäävatele hoonetele. Selle nõude järgi ei tohi hoonetüübi sisetemperatuuri piirväärtust ületada rohkem kui 100 või 150 kraadtunni (°Ch) võrra. Sellisel kujul esitatud nõue lubab piirtemperatuuri hetkelisi ületamisi, kuid need peavad jääma lühiajalisteks. Nõudele vastavuse kontrollimiseks eeldatakse tüüpruumide temperatuuri arvutisimulatsiooni. Korterealamutes võib vastavust kontrollida nii arvutisimulatsiooniga kui ka lihtsustatult, selleks otstarbeks väljatöötatud graafikutega [1].

1.4 Probleemi kirjeldus

Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded” kohaselt on vaja uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususe miinimumnõuetele vastavust tõendada. Tõendamine eeldab keerulise metoodika ja arvutustarkvara valdamist. Määruse täitmise võimekuse esmastest hinnagutest lähtudes võib eeldada, et on väga suur oht ebatõeste tulemuste esitamisele ehitiste projekteerijate poolt. Selle peamiseks põhjuseks on läbipaistmatud arvutused, moonutatud algandmed, keerulise metoodika valestitõlgendamine ning eeskätt puudujäägid keerukate arvutusprogrammide kasutamisel. Samal ajal on oht, et omavalitsustel kui järelevalve teostajatel puuduvad oskused ja tehnilised vahendid arvutustulemuste kontrollimiseks, seetõttu võidakse heausklikult aktsepteerida ebaõigeid tulemusi. Elluviimise ja järelevalvesuutmatuse jätkumine võib viia olukorda, kus väljastatakse miinimumnõuetele vastavuse tunnistus (energiamärgis) ning ehitusluba hoone projektile, mille tegelik energiatarve võib olla esitatud arvutuslikust tulemusest oluliselt suurem. Lõppkokkuvõttes on olemas oht, et määrus täida seatud eesmärki – välistada liigselt energiat tarbivate uute hoonete ehitamine.

1.5 Uuringu eesmärk ja projekti raames läbi viidavad tegevused

Uuringu teostamise aluseks on Eeesti Kütte ja Ventilatsiooniinseneride Ühenduse, Tallinna Tehnikaülikooli ja Kliimakonsult OÜ vahel sõlmitud leping, millega on määratud käesoleva töö eesmärgid ja maht.

Projekti põhieesmärgid ja -tegevused on järgmised:

- 1. Hetkeolukorra analüüs ning määruse eesmärgipärase rakendamise peamiste ohtude täpsustamine**
Metoodika: Alates 1. juulist väljastatud ehituslubade taotlemisel esitatud arvutuste kontroll ja analüüs, mille teostamiseks valitakse ehitusregistrist 10 objekti, mitte eluhoonet (erinevatest hoonetüüpidest) ning teostatakse võrreldavas tarkvaras neile objektidele energiatarbe arvutused. Arvutuste võrdlemisel projekteerija poolt esitatud tulemustega analüüsitakse miinimumnõuetele antud hinnanguid, arvutamisel aluseks võetud algandmeid, kontrollitakse arvutuste tõepärasust. Juhul kui antud hinnangutes esineb olulisi ebatäpsusi tuvastatakse nende tekkimise põhjused ja sellest tulenevad järeldused määruse rakendamise ohtudele.
- 2. Analüüsi tulemuste põhjal koostatakse ülesandepüstitus edasisele uuringule**
- 3. Rakendustarkvarade võrdlev uuring**, mille tulemusena selgitatakse välja Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt (esvalt ainult elamute energiatõhususe miinimumnõuete tõendamiseks) tellitud **tarkvara BV2 sobivust ka teiste hoonetüüpide energiatõhususarvutuste tegemiseks** (sealhulgas büroohooned, ühiskondlikud hooned, koolid, lasteaiad jne).

Metoodika: Uuring viiakse läbi erinevate hoonetüüpide (näiteks büroohooned, koolid, lasteaiad ja/või kultuurihooned (s.h spordihooned),) põhjal. Energiatarbe simulatsioonid teostatakse energiatarbe arvutusprogrammi BV2-ga ning võrdlustulemuse saamiseks viiakse samalaadne simulatsioon läbi teiste rahvusvaheliselt tunnustatud energiatarbe hindamise programmiga. Simulatsioonide tulemuste võrdlemine annab võimaluse hinnata, kuivõrd tulemused erinevad, kas erinevus on statistiliselt oluline. Tulemuste põhjal on võimalik saada teaduslikult põhjendatud hinnang BV2, kui energiatõhususarvutuste teostamise programmi, kasutusvõimalustele kõigi hoonetüüpide puhul.

Tagamaks uurimistulemuste piisavat teaduslikku põhjendatust viiakse läbi koguarvult üle kahesaja simulatsiooni. Hoonete valikusse kuuluvad 5 erineva kasutusotstarbe järgi valitud hoonet, samuti viiakse simulatsioonid läbi 3-5 erineva fassaadivariandiga. Uuringu käigus tehakse kokku 210-240 erinevat täissimulatsiooni energiatarbe tuvastamiseks vähemalt kahe arvutusprogrammi abil (programmis BV2 ning vähemalt 1-2 rahvusvaheliselt tunnustatud võrdlusprogrammis, näiteks IDA-ICE).

4. Vajadusel koostatakse **ettepanekud tarkvara arendajale, kuidas kohandada** BV2 kõigi hoonetüüpide puhul realistliku tulemuse andmiseks.
5. Vajadusel koostatakse **ettepanekud määruse täpsustamiseks**, et tagada määruse eesmärgipärane ellurakendamine.

2 Hetkeolukorra analüüs ning määruse eesmärgipärase rakendamise peamiste ohtude täpsustamine

Koostöös Tehnilise Järevalve Ametiga valiti ehitusregistrist 13 mitte eluhoonete objekti. Tingituna 2009. aasta teise poolaasta madalat ehitus- ja kinnisvaraturu olukorras, olid need ehitusregistri andmete põhjal praktiliselt ainukesed mitte eluhooned, millele oli perioodil 1 juuli – 1 detsember 2009 väljastatud ehitusluba. Lähemal läbivaatamisel selgus, et mitmel valitud objektil puudus ehitusregistris energiaarvutuse kohta viide/teave. Järelepärimiseks võeti ühendust kohalike omavalitsuste ehitusspetsialistidega. Kuna mitme objekti energiaarvutuse kohta ei õnnestunud saada täpset informatsiooni ei kohalikust omavalitsusest ega energiamärgise väljastanud ettevõttest, koostati koostöös Tehnilise Järevalve Ametiga kohalikele omavalitsustele ja/või energiamärgise väljastanud ettevõtetele kirjaliku järelepärimise, milles sooviti järgmisi andmeid:

- energiaarvutuse lähteandmeid ja arvutuskäiku koos arvutusfailidega CD-l;
- energiaarvutusteks kasutatud simulatsiooniprogrammi nime koos litsentsi numbriga.

Lisaks sooviti ühel juhul täiendavat informatsiooni energiaarvutuse esitamise kuupäeva ja ehitusloa väljastamise kuupäeva kohta, ühel juhul objektile ehitusloa andmise täpset kuupäeva ja seda tõendav dokumentatsioon ning ühel juhul objekti tulevast kasutusotstarvet täpsustavat teavet koos seda tõendava dokumentatsiooniga.

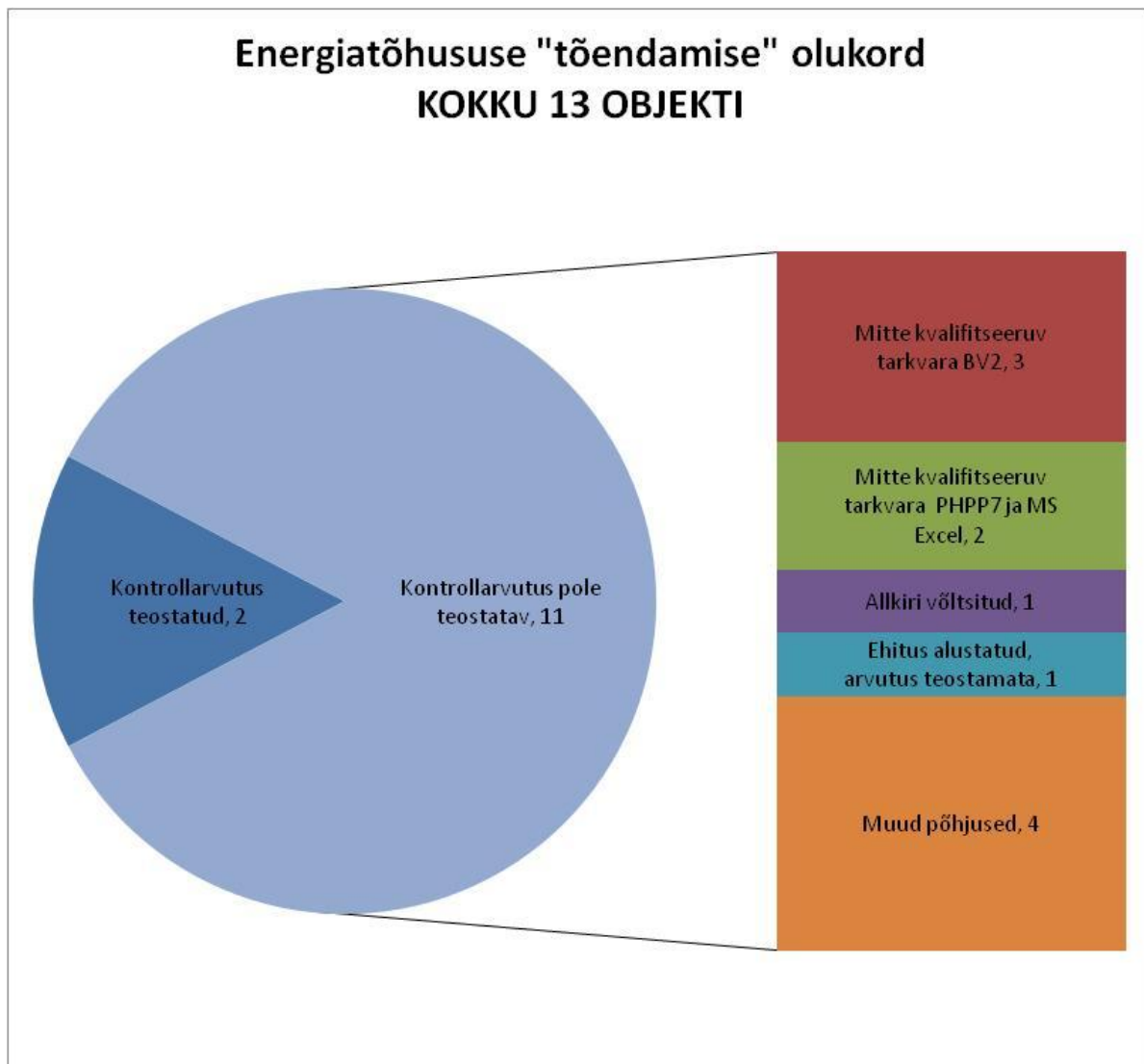
Uuringu tulemusena selgus, et määruse kohase tarkvaraga energiaarvutus oli teostatud kolmeteistkümnest objektist vaid kolmele. Nende kolme hoone energiaarvutuste lähteandmete lähemal uurimisel selgus, et antud kolmest objektist ühe energiaarvutus ei vasta Vabariigi Valitsuse määrusele nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ kuna arvutuste lähteandmed olid võetud ja arvutused teostatud vastavalt projekti näitajatele ja mitte määrus 258 standartingimuste järgi.

Järgnevalt esitatud tabelis nr 1 on näidatud ehitusregistrist valitud objektide asukoht, otstarve ja kommentaar, kus on välja toodud põhjused, juhul kui energiaarvutuse kontrolli polnud võimalik teostada.

Tabel 1 Ehitusregistrist valitud objektide kirjeldus.

ASUKOHT	OTSTARVE	KOMMENTAAR
Narva linn Kangelaste pst 29	Kaubanduskeskus Suletud netopind 13273,9 m ²	Teostati kontrollarvutus
Tallinn, Lasnamäe Kivimurru tn 34	Büroo Suletud netopind 1085 m ²	Teostati kontrollarvutus
Tallinn, Mustamäe Teaduspargi tn 8 mehatsoonikumi parkimismaja ja büroohoone	Büroo Suletud netopind 11710,3 m²	Energiaarvutus ei vasta Vabariigi Valitsuse määrusele nr 258 „Energiatehase miinimumnõuded“, kuna arvutuste lähteandmed olid võetud ja arvutused teostatud vastavalt projekti näitajatele ja mitte määrus 258 näitajate järgselt.
Jõhvi linn Puru tee 15	Lasteaed Suletud netopind 2357,2 m ²	Ehitusluba väljastatud ja hoone ehitust alustatud enne energiaarvutuse teostamist/esitamist, mida tõendab lisas esitatud Jõhvi vallavalitsuse vastus.
Urge küla, Kohila vald	Büroohoone Suletud netopind 380,1 m ²	Energiaarvutuse tiitelleht olemas, mis viitab, et energiaarvutuse on teostanud firma AA arhitektid. AA arhitektuuribüroo ise kinnitab, et pole energiaarvutust teostanud. Tööde Tellija Mistpoint OÜ ei vastanud Tehnilise Järevalve Ameti järelepärimisele. Tegemist allkirja võltsimisega.
Pärnu linn Niidupargi tn 8;12	Kutseõppeasutuse õppehoone Suletud netopind 3982,7 m ²	Suulisest vestlusest selgus, et energiaarvutuse tegemiseks kasutati ühiskondliku hoone energiaarvutuse tegemiseks mitte kvalifitseeruvat arvutusprogrammi (BV2). Tehnilise Järevalve ameti järelepärimisele ei vastatud.
Töökoja tn 3 ärihoone ja tehnovõrgud;	Ärihoone Suletud netopind 2200 m ²	Suulisest vestlusest selgus, et energiaarvutuse tegemiseks kasutati ühiskondliku hoone energiaarvutuse tegemiseks mitte kvalifitseeruvat arvutusprogrammi (BV2). Tehnilise Järevalve ameti järelepärimisele ei vastatud.
Tallinn, Kristiine Tondi 49	Büroo Suletud netopind 460,1 m ²	Suulisest vestlusest selgus, et energiaarvutuse tegemiseks kasutati ühiskondliku hoone energiaarvutuse tegemiseks mitte kvalifitseeruvat arvutusprogrammi (isetehtud MS Exceli arvutuskäik).
Tallinn Mustamäe; akadeemia tee 21	Büroo Suletud netopind 5246 m ²	Suulisest vestlusest selgus, et energiaarvutuse tegemiseks kasutati ühiskondliku hoone energiaarvutuse tegemiseks mitte kvalifitseeruvat arvutusprogrammi (PHPP 7). Tehnilise Järevalve ameti järelepärimisele ei vastatud.
Viljandi linn Reinu tee 35	Kauplus, ei ole toidukauplus Suletud netopind 2347,7 m ²	Suuliselt vastati järelepärimisele, et arvutus on tehtud, kasutades arvutustarkvara (BV2), mis ei kvalifitseeru ühiskondliku hoone energiaarvutuse tegemiseks.
Kolga-Jaani alevik, Viljandi maakond Põltsamaa mnt 2c	Perearstikeskus Suletud netopind 515,7 m ²	Ehitusluba väljastati 29.juunil 2009, mida tõendab lisas Kolga-Jaani vallavalitsuse kiri, kuigi ehitusregister näitab ehitusloa väljastamise kuupäevaks 2.juulit 2009.
Palupõhja küla, Puhja vald, Tartu maakond	Täiendus või ümberõppeasutuse hoone Suletud netopind 130,3 m ²	Tegemist oli turismitalu puukuuriga, seega energiaarvutusest vabastatud objekt.
Tallinn, Rocca Al Mare	Restoran	Energiaarvutus teostatud. Tehnosüsteemid olid varem ehitatud, restoran on juurdeehitis.

Järgneval joonisel (joonis 1) on illustreeritud kujul toodud ülevaade valitud objektide energiatõhususe „tõendamise“ olukorrast.



Joonis 1 valitud objektide energiatõhususe „tõendamise“ olukord.

Nagu jooniselt 1 näha on viis energiaarvutust teostatud selleks mitte ette nähtud tarkvaraga. Suulisel vestlusel energiaarvutuse teostajatega ilmnes, et määruks ühiskondlike hoonete energiatarbeks kvalifitseeruvad programmid on äärmiselt keerulised, samuti saadaval võõrkeelsetena, mis tekitas mitmele kasutajale suuri probleeme terminite mõistmisel. Nende programmide asemel kasutati tervelt kolme arvutuse teostamisel BV2. Põhjenduseks toodi, et sellel programmil on olemas väga hea eestikeelne manuaal, hea praktiline kasutusjuhend näidete näol ning küsimuste tekkides kiire tagasiside programmi tootja või esindajate poolt.

2.1 Energiaarvutuste kontrollanalüüs

Energiaarvutuste kontrollanalüüs teostati vaid määruse kohast tarkvara kasutatud ja määruse 258 kohaste lähteandmete järgi analüüsitud objektidele. Kontrollarvutused on teostatud kasutades tarkvara IDA ICE (*Indoor Climate and Energy*) ja/või BSim (*Building Simulation*). Tootja kinnitusel vastavad mõlemad programmid vastavad Vabariigi Valitsuse määrus nr 258 20.12.2007.a. „Energiatehohuse miinimumnõuded“ § 36. Lgl p1-6 ja lg 2 arvutustarkvarale esitatavatele nõuetele. Samuti on mõlemad tarkvarad tootjate kinnitusel valideeritud vastavalt Euroopa standarditele ja IEA BESTEST metoodikale [2]. Mõlema programmi lühitutvustused on esitatud peatükis 3.

2.2 Kontrollarvutused

Kontrollarvutused teostati kahele objektile:

- Narva linnas aadressiga Kangelaste pst 29 asuvale kaubanduskeskusele;
- Tallinnas aadressiga Kivimurru tn 34 asuvale büroohoonele.

2.2.1 Narva linn, Kangelaste pst. 29

Hoone tüüp: Uusehitus (Kaubanduskeskus)
Aadress Kangelaste pst. 29, Narva linn, Ida-Virumaa
Ehitusaasta 2009
Kõetav pind 12 773 m²
Suletud netopind 13 287 m²

Tabel 3 näitab võrdlevaid tulemusi esitatud ja kontrollarvutuste tulemustele.

Tabel 2 Energiaarvutuse tulemused objektile Narva linn, Kangelaste pst. 29.

	Esitatud andmed	Kontrollarvutuse tulemus	Tulemuste erinevus ¹
Energiatehohusarv	291 kWh/a*m²	247 kWh/a*m²	~15%
Kütteenergia	42,7 kWh/a*m ²	79,2 kWh/a*m ²	~47%
Ventilatsiooni elekter	8,5 kWh/a*m ²	46,2 kWh/a*m ²	~5 korda
Tarbeelekter	89,1 kWh/a*m ²	69,7 kWh/a*m ²	>20%
Jahutus	69,8 kWh/a*m ² (bruto)	3,7 kWh/a*m ² (bruto)	~ 20 korda

¹ Käesoleva töö järgnevas etapis selgus, et eri programmidega arvutades võib tulemus erineda küllaltki suurtes piirides ja 20 % erinevus pole mingi erand (vt peatükki 3)

2.2.2 Narva linn, Kangelaste pst. 29 tulemuste hinnang

Originaalarvutuste teostaja poolt koostatud Narva Prisma Kaubanduskeskuse energiamärgise (Narva linn, Kangelaste pst. 29) ja kontrollarvutuste tulemuste võrdlus:

Tulemused ei lange kohati kokku energiamärgise arvutuse tulemustega. Võimalikke põhjuseid on mitmeid:

1. Erinevate tarkvarade kasutamine;
2. Originaalarvutustes on saadud antud hoone energiaatõhususearvuks $291 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$. Kontrollarvutuste tulemusena saadi $210 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$. Erinevus on $\sim 28\%$. Tulemuste erinevus on tingitud tõenäoliselt eriseadmetest, mille kohta kontrollarvutuste teostamisel andmed puudusid;
3. Ventilatsiooni elektris on arvutuste tulemuste vahe üle 4 korra. Originaalarvutustes on tulemuseks saadud $8,5 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$ ja kontrollarvutuses $44,2 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$. Kui arvutada kõige lihtsama kasutusprofiili ja õhuhulga järgi, saame $16 \text{ tundi}\cdot 7 \text{ päeva}\cdot 52 \text{ nädalat}\cdot 38,3 \text{ m}^3/\text{s}\cdot 2,5(\text{SFP})/\text{pindala}=43,7 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$. Tulemuste erinevus ei sõltu profiilide erinevusest, sest õhu soojendamiseks kulunud soojushulgad on ligikaudu samad. Ilmselt võib viga olla SFP (*Specific Fan Power*) väärtuses, sest originaalarvutusi teostanud programm ei võimalda otse SFP väärtust sisestada, vaid tuleb ise arvutada õhuhulkade ja rõhukadude järgi;
4. Tarbeelektrite erinevus on üle 20%. Originaalarvutustes on $89,1 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$ ja kontrollarvutustes $69,7 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$. Originaalarvutustes on lisatud eriseadmed, tulemuste erinevus on tõenäoliselt tingitud sellest;
5. Originaalarvutustes on jahutuse brutoenergiaks saadud $69,8 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$, mis teeks jahutuse netoenergiaks $\sim 250 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$. Kontrollarvutustes saadi brutoenergiaks $1,5 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$ ja netoenergiaks $5,3 \text{ kWh/a}\cdot\text{m}^2$. Esitatud ning kontrollarvutustega saadud energiaatõhususarvu suur erinevus on tingitud märkimisväärselt jahutusenergia erinevusest – kontrollarvutuse tulemus erineb esitatust üle 40 korra;
6. Tulemuste täpsemal analüüsimisel selgus, et üheks erinevuse põhipõhjuseks on kaubandusettevõtetes kasutatavate külmutusseadmetega (külmletid, külmkambrid) seonduv, mis ei ole määrusega määratletud. Lahtine on küsimus kuidas sellises olukorras on õige toimida: Kas käsitleda kütusseadmeid tehnoloogiliste seadmetena ja neid arvutustes mitte arvestada, kui kasutatakse teisel külmutusseadmete soojust, kas arvestada külmlettide poolt ruumi eralduvat jahutusenergiat jne? Sõltuvalt lähenemisviisist võib energiaatõhususearv erineda küllaltki suurtes piirides.

2.2.3 Tallinn, Lasnamäe, Kivimurru tn 34

Hoone tüüp: Uusehitus (büroohoone)

Aadress: Kivimurru tn 34, Tallinn, Harjumaa

Ehitusaasta 2009

Kõetav pind 964,4 m²

Suletud netopind 1094,2 m²

Tabel 4 näitab võrdlevaid tulemusi esitatud ja kontrollarvutuste tulemustele.

Tabel 3 Energiaarvutuse tulemused objektile Tallinna linn, Kivimurru tn 34.

	Esitatud andmed	Kontrollarvutuse tulemus	Tulemuste erinevus²
Energiatõhusus arv	168,50 kWh/m²	146,6 kWh/m²	~13%
Kütteenergia	39,1 kWh/a*m ²	47,8 kWh/a*m ²	~18%
Ventilatsiooni elekter	14,9 kWh/a*m ²	14,7 kWh/a*m ²	<5% (~1%)
Tarbeelekter	52,1 kWh/a*m ²	49,4 kWh/a*m ²	~5%
Jahutus	- 7,8 kWh/a*m ²	- 4,2 kWh/a*m ²	~2 korda

2.2.4 Tallinn, Lasnamäe, Kivimurru tn 34 tulemuste hinnang

Originaalarvutuste teostaja poolt koostatud Kivimurru tn 34 (Tallinn) ja kontrollarvutuste tulemuste võrdlus:

Tulemused ei lange kohati kokku energiamärgise arvutuse tulemustega. Võimalikke põhjuseid on mitmeid:

1. Erinevate tarkvarade kasutamine;
2. Hoonete pindalad ei lange kokku. Põhjuseks eeldatavasti sisekonstruktsioonide paksuste erinevus;
3. On arusaamatuks jäänud suletud - ja kõetud netopindade suurused. Lähutvalt arhitektuursest projektist on hoone suletud netopind 1038,1 m², kuigi originaalarvutustes on soojavee tarbimine arvatud 1094,2 m² pinna jaoks. Samuti puudub arusaamine, millist osa hoonest arvestatakse kütmata olekus olevaks;
4. Vabasoojuste, ehk inimeste, valgustuse ja seadmete standardkasutus ja sellele vastavad vabasoojuste pinna ruutmeetri kohta on kontrollarvutusel lisatud vastavalt määrusele 258. Soojuseraldused on võetud inimestele, valgustusele ning seadmetele vastavalt 6 W/m², 15 W/m² ja 18 W/m². Kõigi kasutusaeg on 5 päeva nädalas ja 1 h/d. Arvutuste teostamisel tekkisid kahtlused sisendite vastavuses originaal- ja kontrollarvutustel;

¹ Käesoleva töö järgnevas etapis selgus, et eri programmidega arvutades võib tulemus erineda küllaltki suurtes piirides ja 20 % erinevus pole mingi erand (vt peatükki 3)

5. Originaalarvutuste tulemustest jääb arusaamatuks, millest tuleb nii suur elektri energia tarbimine, mida hõlmab elektrisüsteemide 57 MWh/a. Ka jahutussüsteemi tarbimine on arusaamatult suur;
6. Ventilatsiooniõhu soojendamise energiakasutuste erinevus originaal- ja kontrollarvutusel on ligi 3,5 korda. Erinevus on tingitud sissepuhketemperatuuride erinevusest kontroll- ja originaalarvutuses, mis on võetud vastavalt 18°C ja 21°C. Osaliselt on erinevus tingitud ka ventilatsioonisüsteemi soojustagasti temperatuuri suhtarvust. Kontrollarvutuses on arvestatud soojustagasti temperatuuri suhtarvuga 0,8, vastavalt määruse 258 §25. Originaalarvutuses on temperatuuri suhtarv võetud 0,76;
7. Suviste ruumitemperatuuride kontroll oli teostatud originaalarvutustes kogu aasta kohta, mitte aga suve kohta. Määruse kohaselt tuleks kontroll teha vaid suvekuude kohta.

2.3 Kontrollarvutuste kokkuvõte

Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr 258 "Energiatõhususe miinimumnõuded" Hetkeolukorra analüüs ning määruse eesmärgipärase rakendamise peamiste ohtude täpsustamise analüüs tõi selgelt välja märkimisväärseid puudusi määruse ellurakendumisel. Kontrollarvutuste raames analüüsi ehitusregistrist välja valitud 13 mitte eluhoone ehitusloa taotluseks esitatud projektdokumentatsiooni energiaarvutuste vastavust määruse nr 258 nõuetele.

Uuringu käigus selgus, et valdav osa esitatud energiaarvutustest on teostatud kas puudulikult, tehtud mitte kvalifitseeruva arvutustarkvaraga või üldse tegemata. Määruse kohast metoodikat oli kasutatud ainult kahel juhul kolmeteistkümnest.

Analüüsitud tööde põhjal võib teha üldistuse, et Vabariigi Valitsuse määruse nr 258 20.12.2007.a., „Energiatõhususe miinimumnõuded“ tööle rakendumisel on märkimisväärseid puudusi ning määrusega seatud eesmärgid on sisuliselt täitmata. Osaliselt on need tingitud määruse keerukusest, kuid samuti probleemidest määruse järgi aktsepteeritava arvutustarkvara kasutamisel. Eesti Vabariigis ei ole olnud institutsiooni(e), kes oleks välja õpetanud vajalikul hulgal määruses aktsepteeritava arvutustarkvara spetsialiste. Arvutusteks aktsepteeritav tarkvara on saadaval vaid võõrkeelsena ning kasutamine äärmiselt keeruline ja eeldab kõrgeid erialaseid teadmisi ning suurt töökogemust. Sageli pole arvutuskäigud ja -tulemused läbipaistvad, mistõttu on energiaarvutuste adekvaatsuse kontroll komplitseeritud.

3 BV2 kontrollanalüüs ja lähteülesande püstitus

Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ Hetkeolukorra analüüsi käigus analüüsitud kolmeteistkümnest objektist olid tervelt kolme objekti kontrollarvutuse teostamisel kasutatud tarkvara BV2. Põhjenduseks toodi, et sellel programmil on olemas väga hea eestikeelne manuaal, hea praktiline kasutusjuhend näidete näol ning küsimuste tekkides kiire tagasiside programmi tootja või esindajate poolt.

BV2 on 2009 aastal Majandus- ja Kommunikatsiooni Ministeerium poolt Rootsi firmalt CIT Energy Management tellitud vabakasutuses olev arvutustarkvara. Tarkvara tohib hetkel kasutada ainult eluhoonete energiatõhususe miinimumnõuete tõendamiseks. BV2 ei vasta osaliselt „Energiatõhususe miinimumnõuded“ § 36. Lg1 p1-6 ja lg 2 esitatavatele nõuetele arvutustarkvarale, mistõttu ei saa BV2 hetkel kasutada mitte eluhoonete energiatõhususe tõendamisel.

Tingituna asjaolust, et BV2 on programmi autorite väitel mõeldud just mitte eluhoonete energiatarbimise arvutamiseks, et BV2 on Eestis juba märkimisväärsel hulgal kasutajaid leidnud, programm on teatud määral kohandatud Eesti oludele vastavamaks ja programm on kasutajatele tasuta kättesaadav, oleks igati loogiline kaaluda selle kasutamist ka mitte eluhoonete energiatõhususe miinimumnõuete tõendamisel.

Käesoleva uuringu põhieesmärgiks on kontrollida ja hinnata Majandus- ja Kommunikatsiooni Ministeeriumi poolt Eesti Vabariigi avalikku kasutusse ostetud vabatarkvara BV2 kasutuspotentsiaali mitte eluhoonete energiatõhususe miinimumnõuete tõendamisel. Uuringus võrreldakse BV2-te arvutusprogrammidega, mis vastavad määruses nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ § 36. Lg1 p1-6 ja lg 2 esitatud nõuetele. Juhul, kui programmide võrdlused kinnitavad arvutustulemustes head korrelatsiooni tuleks kaaluda aksepteerida mitte eluhoonete energiatõhususe miinimumnõuete tõendamisel arvutusi, mis on teostatud ka programminga BV2.

NB! Siinkohal tuleb toonitada, et antud uuringu eesmärgiks on arvutusprogrammi BV2 sobivuse hinnang mitte eluhoonete energiatõhususe miinimumnõuete tõendamiseks.

Käesoleva uuringu eesmärgiks ei ole erinevate programmide võrdlus.

3.1 Arvutusprogrammide lühitutvustus

Järgnevalt on tutvustatud lühidalt arvutusprogrammi BV2 ja teisi programme, mis on hetkel Eestis kasutusel ja mille tulemusi võrreldakse arvutusprogrammiga BV2.

3.1.1 BV2

BV2 väljaarendajaks on Rootsi ettevõtte CIT Energy Management AB. Programmi saab koos kasutajajuhendiga maha laadida MKM kodulehelt www.mkm.ee/hoonete-mn.

Arvutustarkvara iseloomustab neli märksõna [3]:

- Lihtne kasutada;
- Kiire;
- Sobiv igasugustele hoonetüüpidele;
- Saadaval eesti keelsena koos eesti keelse manuali ja kasutusnäidetega, ning lisaks olemas; eesti keelne kasutajatugi.

Samas tuleb märkida, et hetkel ei vasta BV2 osaliselt „Energiatehohuse miinimumnõuded“ § 36. Lg1 p1-6 ja lg 2 esitatavatele nõuetele arvutustarkvarale. Sellest tingituna ei saa BV2 hetkel kasutada mitte eluhoonete energiatehohuse tõendamisel.

3.1.2 Riuska

Riuska on energiasimulatsiooniprogramm, mis toimib *DOE-2.1E* simulatsioonimootoril. Hoone geomeetria importimine *Riuska*-sse käib põhiliselt läbi *IFC* failitüübi ning programm omab ka *IFC* kasutajaliidest läbi *BSP* server-i vahetarkvara. *BSP* server on arendatud Soome firma *Olof Grandlund OY* poolt. *BSP* server lihtsustab automaatselt keerulise geomeetrilise informatsiooni *IFC* mudelist soojusliku simulatsiooni vajadustele. Kõik ülejäänud soojuslikud parameetrid, et mudelit oleks võimalik simuleerida, peavad olema sisestatud kasutaja poolt. *Riuska* on ruumilise põhjaga simulatsioonivahend ning sellised parameetrid nagu näiteks inimeste arvu, valgustuse ja seadmete koormused ning KVV-süsteemi parameetrid, on kergelt sisestatavad erinevatele ruumidele üheaegselt. Selline paindlikkus laseb kasutajal täpsustada muutuvaid tingimusi igal erineval ruumide konfiguratsioonil [4].

Tarkvara on tootja (müüa) andemete kohaselt valideeritud vastavalt Euroopa standarditele ja IEA BESTEST metoodikale [2].

3.1.3. VIP Energy

Energy on välja töötatud Rootsi firma Structural Design Software in Europe AB poolt ja on edasiarendus arvutustarkvarale VIP Energy'le. VIP Energy on vahend simuleerimaks hoone energiatarbimist ja eri lahenduste majandusliku tasuvust [5].

Hoone geomeetria on võimalik importimine *Archicad*ist, mis kiirendab oluliselt tööprotsessi.

Tarkvara on tootja (müüa) andemete kohaselt valideeritud vastavalt Euroopa standarditele ja IEA BESTEST metoodikale [2].

3.1.4 BSim (Building Simulation)

Simulatsiooniprogramm BSim on välja töötatud ja arendatav Danish Building Research Institute (Taani Riikliku Hoone Uurimise Instituudi) poolt. BSim on integreeritud arvutitarkvara hoonete ja tehnosüsteemide analüüsimiseks. BSim-ga on võimalik arvutada ja simuleerida soojuslikku

sisekliimat, energiatarvet, päevavalguse olukorda, paralleelne simulatsioon niiskusele ja soojusvoole konstruktsioonides, loomuliku ventilatsiooni ja elektritarbe arvutus päikesepaneelidega integreeritud süsteemiga hoonele [6].

3.1.5 IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE)

IDA-ICE 4 on välja töötatud Rootsi ettevõttes EQUA. Programm tugineb energiabilanssi arvutamise meetodil. *IDA-ICE* on vahend arvutamaks hoone energiatarbimist, hoonesisest õhu kvaliteeti ja soojuslikku mugavust. See sisaldab suurt hulka võimalusi, näiteks integreeritud õhuvoolude võrgustikku ja soojuslikku mudelit, CO₂ ja niiskuse arvutusi ning ka vertikaalseid temperatuuri gradiente. Näiteks tuule ja õhu liikumine läbi lekete ja aukude, võetakse arvesse täielikult integreeritud õhuvoolu võrgustiku mudeli kaudu.

IDA-ICE toetab kolme erineva tasemega kasutajaliidest:

- Lihtne visard *IDA Room*-i näol, kus kasutaja peab täitma vaid mõned lüngad ja saab alustada simuleerimist. Kasutajal ei ole otsest kontrolli simuleeritava süsteemi füüsilise või matemaatilise mudeli üle;
- Füüsikaline ehk tavaline tase. Kasutaja kasutab olemasolevat mudelit, mis on pärit programmi andmebaasist, aga ei oma kontrolli matemaatilise mudeli üle;
- Matemaatiline ehk edasiarendatud tase. Mudeleid saab muuta ja kirjutada uusi, kasutades selleks modelleerimiskeelt *NMF*. Füüsikalist mudelit ei vajata.

Kliimamudel on algoritmiline mudel, mis võimaldab võtta arvutustes arvesse õhu, taeva ja maapinna temperatuuri, õhu suhtelist niiskust, õhurõhku, CO₂ sisaldust, otsese normaali suunalise ja hajutatud päikese kiirgust, tuule suunda ja kiirust,

IDA-ICE sisaldab eraldi asuvat translaatorit, et konverteerida mõningaid kindlakskujunenud ilmaandmeid sobivasse failiformaati [7].

3.2 BV2 kontrollanalüüsi teostamise põhimõte

Antud uuringu eesmärgiks on arvutusprogrammi BV2 sobivuse hinnang mitte eluhoonete energiatoõhususe miinimumnõuete tõendamiseks. Selleks viiakse läbi uuring järgmistele hoonetüüpidele:

- Büroohoone (erivariantidena ilma sisemise vabasoojuseta büroohoonele, ilma otsese päikese kiirguse mõjuta (ilma akendeta) büroohoonele, suure soojapidavusega büroohoone ja suure klaasfassaadiga büroohoone);
- Koolimaja;
- Hotell;
- Võimla;
- Spordihoone. Lisaks teostatakse spordihoone baasil erinevate programmide ventilatsiooni soojus- ja jahutusenergia tarbimise analüüs;
- Lasteaed.

Uuring on läbi viidud kasutades järgmisi arvutustarkvarasid

- BV2;
- IDA-ICE;
- Riuska;
- VIP Energy;
- Bsim.

Analüüsi teostasid kokku 9 inimest, hõlmates nii TTÜ õppejõudusi, doktorante kui ka magistrante. Paljudel neist selja taga mitme aasta pikkune kogemus simulatsiooniprogrammidega töötamisel. Vältimaks nn. inimfaktorist tingitud ebatäpsusi arvutustes, teostas iga programmiga arvutusi mitu inimest ja arvutusprogramm Bsim, mis on võrreldavatest programmidest Eestis kõige vähem kasutuses.

Nagu eeldada oli, tekkisid esmalt ka sama programmiga arvutamisel lõpptulemustes märkimisväärsed erinevused. Mudelite kalibreerimiseks võrreldi sisendparameetrite sarnasust, sealhulgas hoone $\Sigma U \cdot A$ väärtust, eralduvate vabasoojuste ühtelangevust, infiltratsiooni väärtust jt. Aksepteeritav lõpp tulemuste erinevus sama programmiga arvutades ei tohtinud ületada 2-3 %, kusjuures eri programmides võrdlustes kasutati konkreetse programmi andmetena eri isikute poolt saadud tulemuste aritmeetilise keskmise väärtust.

Antud projekti raames vaadeldi vaid neto energiasid: küte ja jahutus. Netoenergiat ei võeta arvesse erinevaid kasutegurid, mistõttu annab netoenergiate võrdlemine kõige parema ülevaate programmi dünaamilise soojuslevi arvutusmootorist.

Simulatsioonide tulemuste võrdlemine peaks andma võimaluse hinnata, kui võrd tulemused erinevad, kas erinevus on statistiliselt oluline, kas BV2 sobib kasutamiseks ka mitte eluhoonetes energiatõhususe tõendamiseks.

Peamine dünaamilise simulatsiooni kontroll baseerub arvutusprogrammide tulemuste suhtelisel erinevusel võrreldes arvutusprogrammiga BV2. Programmide suhteline erinevus leiti kasutades järgnevat valemit.

$$\text{Suhteline erinevus} = \frac{\text{Energia}_{\text{konkreetne programm}}}{\text{Energia}_{\text{BV2}}} - 1 \quad (1)$$

Iga konkreetse hoone lähteandmed ja arvutusmetoodika on põhjalikumalt esitatud vastavas peatükis enne arvutustulemusi. Siinkohal lühiülevaade parameetritest, mille mõju analüüsis vaadeldi.

Hoone orientatsioon kahes variandis:

- Põhja suund on võetud hoone lühema küljega risti;
- Põhja suund pikema teljega risti.

Orientatsiooni mõju vaadeldi büroohoone arvutustes. Kuna arvutustulemused erinevatele ilmakaarte suhtes suurt mõju ei avaldanud ei ole neid tulemusi antud töö raames pikemalt käsitletud.

Hoone energiakulu on arvutatud:

1. Terve hoone 1 tsoonina;
2. Terve hoone 20 tsoonina.

Eesmärgiga võrrelda 1 tsooni arvutusi ja mitme tsooni arvutusi on teostatud arvutused eri tsooni mudelitega.

Enamus arvutusi teostati kolme akna osakaalu variandina (täpsed lähteandmed vaadata iga konkreetse arvutuse ees):

1. Klaasfassaadi osakaal seinast 30% (akna raami osakaal 10%);
2. Klaasfassaadi osakaal seinast 50% (akna raami osakaal 10%);
3. Klaasfassaadi osakaal seinast 80% (akna raami osakaal 10%).

Alternatiivsete päikeseläbivus teguri g väärtustega (täpsed lähteandmed vaadata iga konkreetse arvutuse ees):

1. Klaasi päikeseläbivus tegur $g = 0,30$;
2. Klaasi päikeseläbivus tegur $g = 0,50$.

Alternatiivse konstruktsiooniga ehitisega (täpsed lähteandmed vaadata iga konkreetse arvutuse ees):

1. Kergkonstruktsioonist ehitisena;
2. Raskekonstruktsioonist ehitisena.

Hoone kasutusprofiilid ja vabasoojused võeti „Energiatõhususe miinimumnõuete“ määrusest vastavalt konkreetsele hoonetüübile.

3.3 Büroohoone

Järgnevalt on teostatud büroo analüüs. Esmalt on esitatud lähteandmed, edasi tulemused ja siis järeldused. Täiendavalt on büroohoonel analüüsitud sisemise vabasoojuse mõju hoone energiatarbimisele (ilma otsese päikesekiirguseta), päikesekiirguse mõju hoone energiatarbimisele.

3.3.1 Büroohoone lähteandmed

Järgnevalt on kirjeldatud büroo arvutustes kasutatud lähteandmeid. Arvutuste aluseks on võetud viiekordne hoone orientatsiooniga põhja-lõuna suunal (suurem fassaad ida ja lääne suunal).

Simulatsioonid teostati järgmiste tarkvaradega:

- BV2 arvutuse teostas 3 er inimest;
- IDA-ICE 2 eri inimest;
- Riuska 3 eri inimest;
- VIP Energy 2 eri inimest
- BSim 1 inimene.

Lisaks on iga arvutus teostatud kolme variandina:

- Klaasfassaadi osakaal fassadist 30% (akna raami osakaal 10%);
- Klaasfassaadi osakaal fassadist 50% (akna raami osakaal 10%);
- Klaasfassaadi osakaal fassadist 80% (akna raami osakaal 10%).

Kahe alternatiivse aknaklaasi päikeseläbivus teguri g väärtustega:

- Klaasi päikeseläbivus tegur $g = 0,30$;
- Klaasi päikeseläbivus tegur $g = 0,50$.

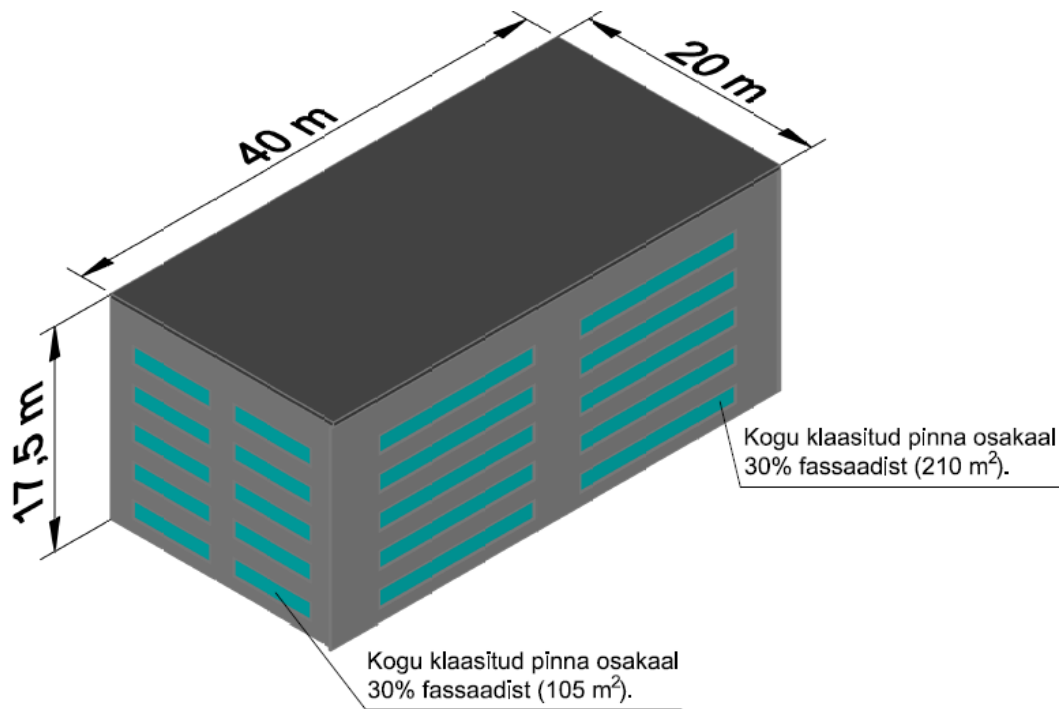
Ja kahe alternatiivse konstruktsiooniga ehitisega;

- Kergkonstruktsioonist ehitisena;
- Raskekonstruktsioonist ehitisena.

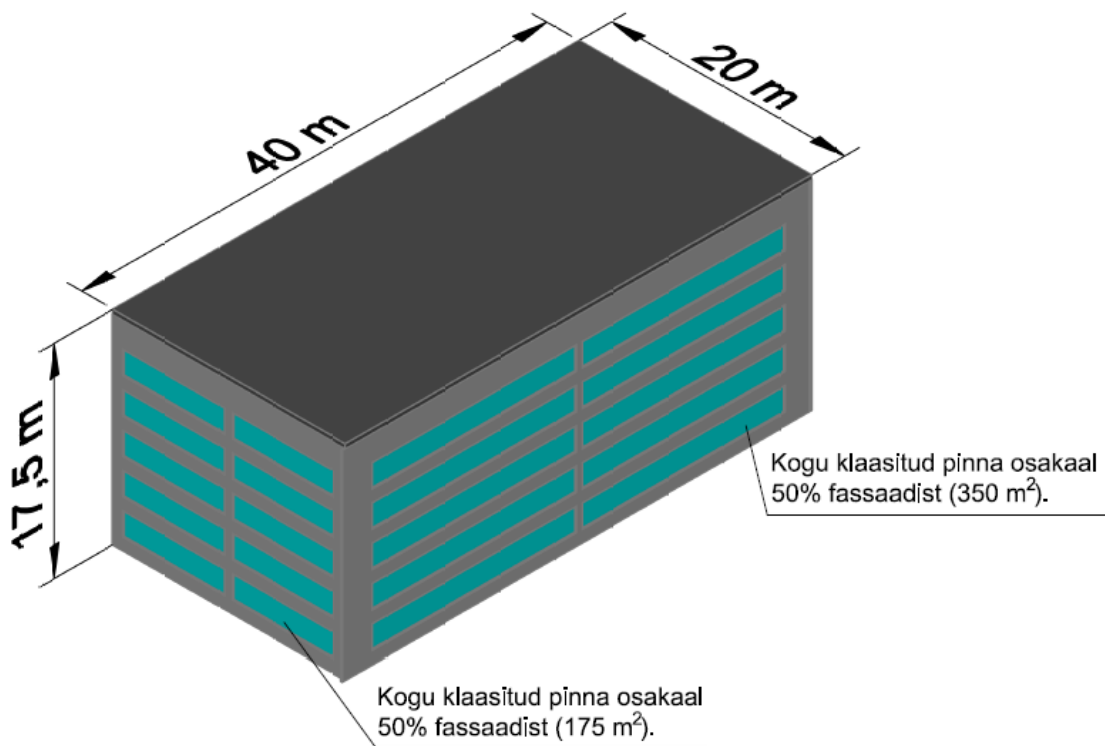
Hoone energiaarvutused on teostatud järgmiselt

- 1 tsooni mudelina kõikidele programmidele;
- 1 tsooni mudelina BV2 ja VIP Energy (arvestades vahesinte ja -lagedega) ning 20 tsooni mudelina programmidele IDA-ICE, Riuska ja BSim.

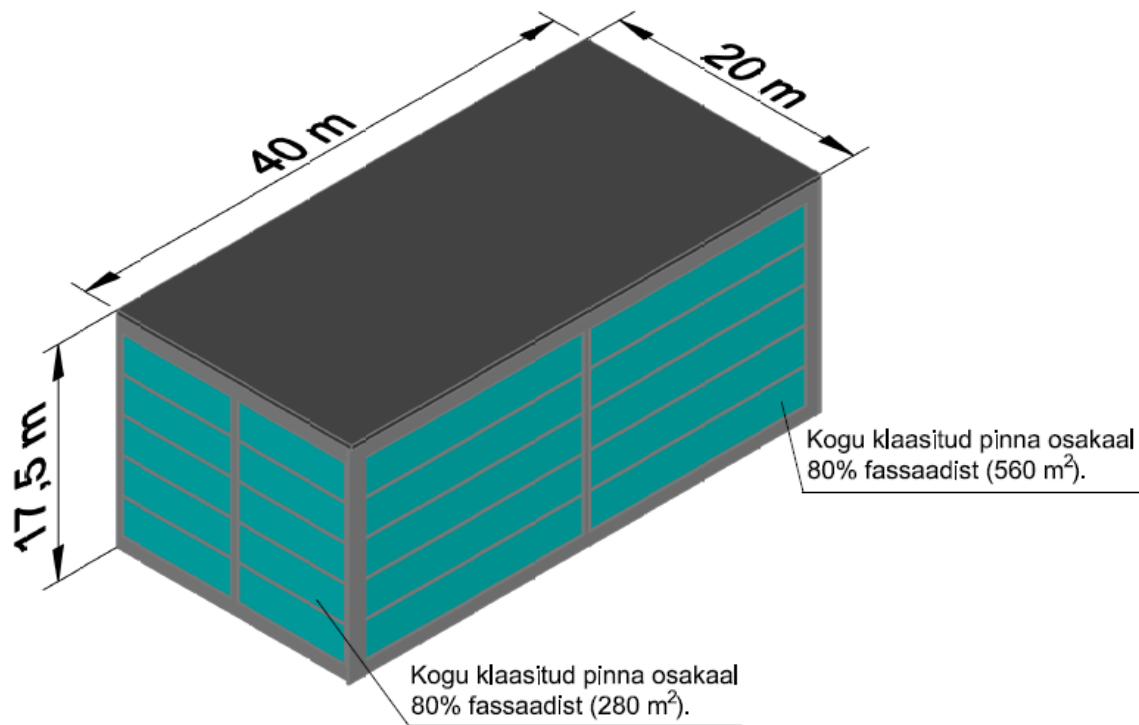
Järgnevalt on esitatud illustreerivad joonised arvutustes kasutatud büroo kohta.



Joonis 2 Büroo, akna osakaal 30% fassaadist.



Joonis 3 Büroo, akna osakaal 50% fassaadist.



Joonis 4 Büroo, akna osakaal 80% fassaadist.

Järgnevalt on esitatud täpsed lähteandmed arvutustes kasutatud büroo kohta.

Tabel 4 Büroo arvutuste lähteandmed.

Hoone temperatuurid:

Madalaim lubatud ruumiõhu temperatuur	21 °C
Kõrgeim lubatud ruumiõhu temperatuur	25 °C

Ventilatsioon:

Sissepuhkeõhu temperatuur	18°C
Ventilatsiooni soojustagasti temperatuuri suhtarv	80%
Ventilatsiooni tööaeg	Ventilatsioon töötab 1 tund enne ja peale ruumi kasutusaega ehk kella 06:00 – 19:00; 5 päeva nädalas tööpäevadel. Ülejäänud ajal ventilaatorid seisavad.
Ventilatsiooni õhuvoolumugad	2 l/s*m ² (7006 l/s)

Vabasoojused (arvutustes on kasutatud keskmise vabasoojuse kasutusastet).

Kasutusaeg	07:00-18:00; 5 päeva nädalas
Keskmine kasutusaste	0,55
Valgustus	15 W/m ²
Seadmed	18 W/m ²
Inimesed	5 W/m ²
Pind mille alusel vabasoojused määratakse	hoone köetav pind

U-arvud:

Välissein	0,22 W/K*m ²
Katuslagi	0,17 W/K*m ²
Põrand pinnasel (Maapinna temperatuur on +7°C, 1 m pinnast põranda konstruktsiooni all).	0,15 W/K*m ²
Aken (kaalutud keskmine koos raamiga)	1,70 W/K*m ²

Hoone üldandmed:

Sisepindala	3503 m ²
Infiltratsioon	0,056 l/s, m ² (196 l/s)

Külmasillad:

Välissein- põrand	0,09 W/K*m
Välissein- katuslagi	0,07 W/K*m
Akna perimeeter	0,07 W/K*m

Eesmärgiga välja selgitada erinevate programmide sisemise vabasoojuse ja päikesekiirguse mõju teostati büroole järgmised arvutused:

- Ilma akendeta hoone, ventilatsioon välja lülitatud (s.t ventilaatorid seisavad). Arvutused teostatud 1 tsooni mudelina BV2 ja VIP Energy (arvestades vahesinte ja -lagedega) ning 20 tsooni mudelina programmidele IDA-ICE, Riuska ja Bsim;
- Büroo ilma sisemise vabasoojuseta (s.t. vabasoojus inimestelt, seadmetelt ja valgustuselt on 0). Arvutused teostatud 1 tsooni mudelina BV2 ja VIP Energy (arvestades vahesinte ja -lagedega) ning 20 tsooni mudelina programmidele IDA-ICE, Riuska ja BSim.

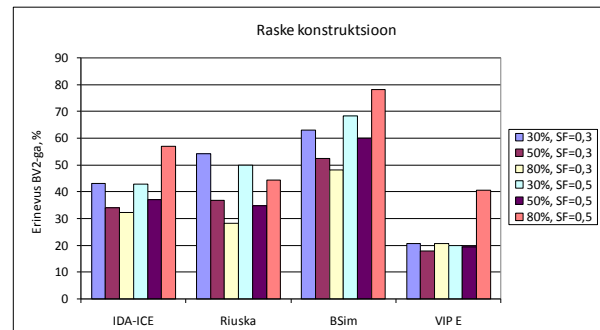
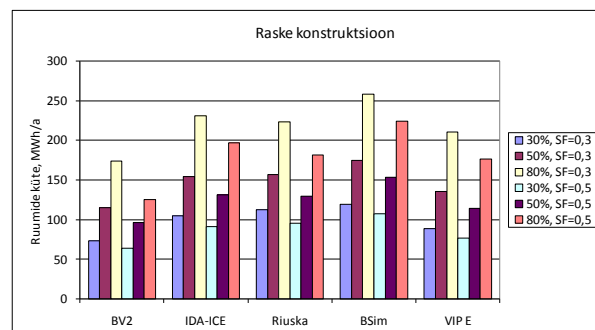
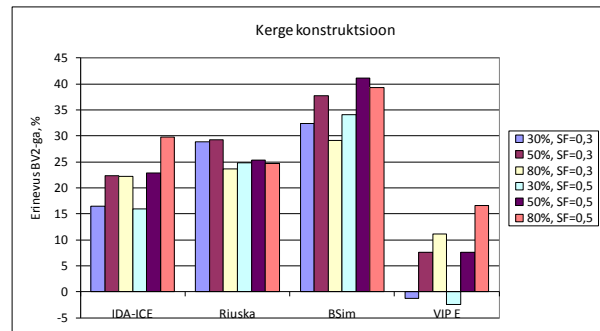
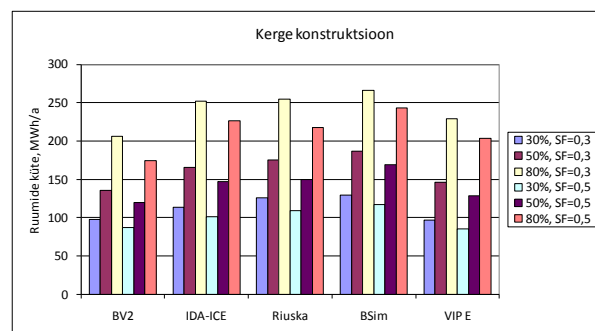
3.3.2 Büroohoone arvutuste tulemused

Simulatsioonide tulemused on toodud alljärgnevates tablitest ja joonistel.

Tabel 5 Ruumiküte.

		Absoluutväärtusena, MWh/a					
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	98	114	126	129	96
		50	136	166	175	187	146
		80	206	252	255	266	229
	SF=0,5	30	88	102	109	117	85
		50	120	147	150	169	129
		80	175	227	218	243	204
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	73	105	113	119	88
		50	115	154	157	175	135
		80	174	231	224	258	210
	SF=0,5	30	64	91	95	107	76
		50	96	131	129	153	115
		80	126	197	181	224	177

		Erinevus BV2-st, %					
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	0	17	29	32	-1
		50	0	22	29	38	8
		80	0	22	24	29	11
	SF=0,5	30	0	16	25	34	-2
		50	0	23	25	41	8
		80	0	30	25	39	17
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	0	43	54	63	21
		50	0	34	37	52	18
		80	0	32	28	48	21
	SF=0,5	30	0	43	50	68	20
		50	0	37	35	60	19
		80	0	57	44	78	41

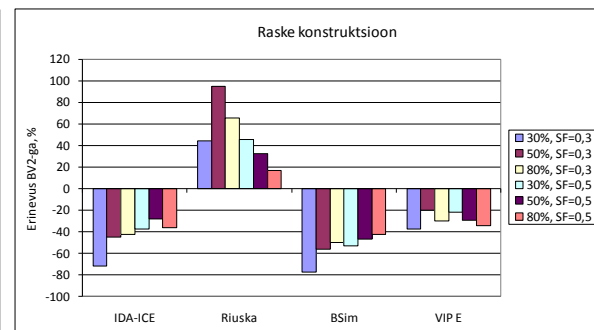
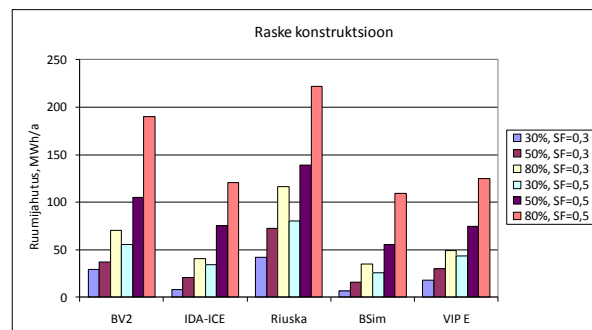
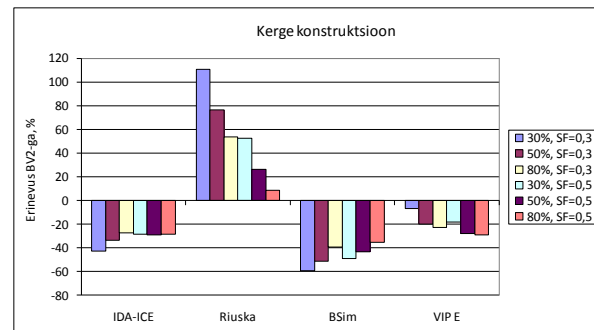
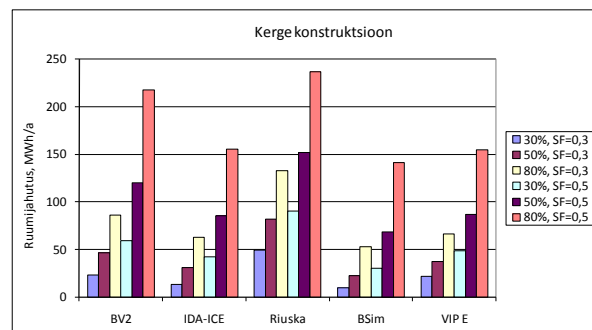


Joonis 5 Ruumiküte.

Tabel 6 Ruumijahutus.

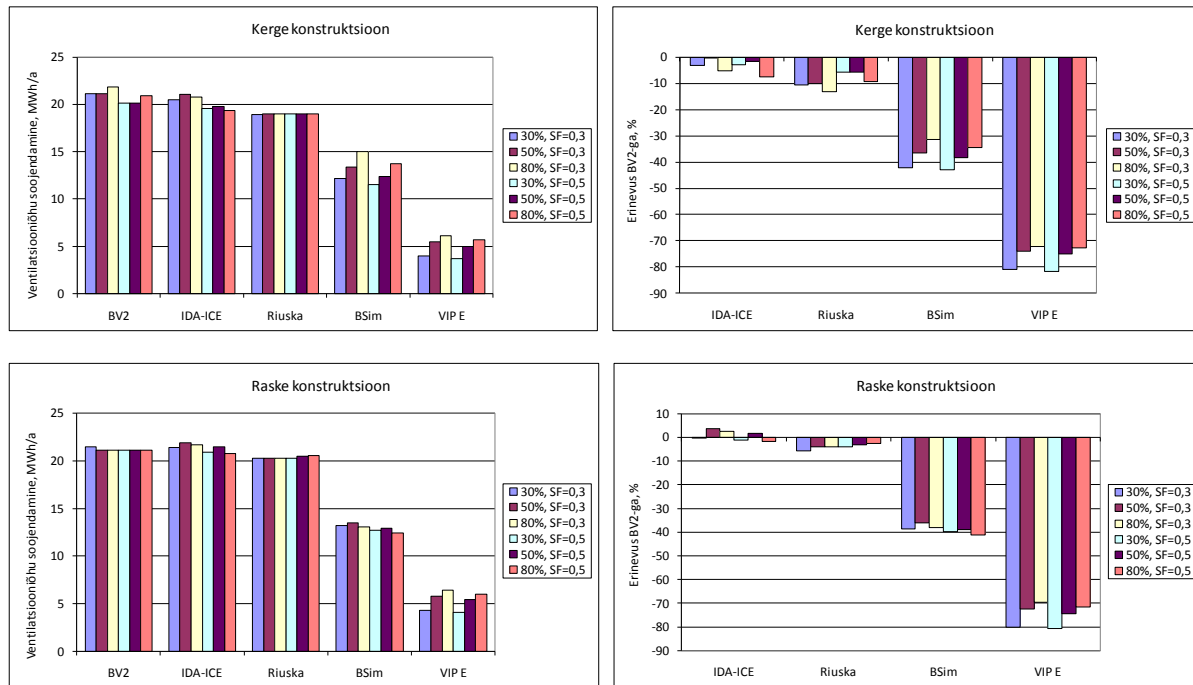
Absoluutväärtusena, MWh/a							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	23	13	49	10	22
		50	46	31	82	23	37
		80	86	63	133	53	66
	SF=0,5	30	59	42	90	30	49
		50	120	86	152	68	87
		80	218	155	237	141	155
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	29	8	42	7	18
		50	37	21	73	16	30
		80	70	40	117	35	49
	SF=0,5	30	55	34	81	26	43
		50	105	75	139	56	74
		80	190	121	222	109	125

Erinevus BV2-st, %							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	0	-43	111	-59	-7
		50	0	-33	76	-51	-20
		80	0	-27	54	-39	-23
	SF=0,5	30	0	-29	53	-49	-18
		50	0	-29	26	-43	-28
		80	0	-29	9	-35	-29
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	0	-72	44	-78	-38
		50	0	-45	95	-56	-20
		80	0	-43	66	-50	-30
	SF=0,5	30	0	-38	46	-53	-22
		50	0	-28	33	-47	-29
		80	0	-37	17	-43	-34

**Joonis 6** Ruumijahutus.**Tabel 7** Ventilatsiooniõhu soojendamine.

Absoluutväärtusena, MWh/a							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	21	20	19	12	4
		50	21	21	19	13	6
		80	22	21	19	15	6
	SF=0,5	30	20	20	19	12	4
		50	20	20	19	12	5
		80	21	19	19	14	6
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	22	21	20	13	4
		50	21	22	20	14	6
		80	21	22	20	13	6
	SF=0,5	30	21	21	20	13	4
		50	21	22	21	13	5
		80	21	21	21	12	6

Erinevus BV2-st, %							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	0	-3	-11	-42	-81
		50	0	0	-10	-37	-74
		80	0	-5	-13	-31	-72
	SF=0,5	30	0	-3	-6	-43	-82
		50	0	-2	-6	-38	-75
		80	0	-8	-9	-35	-73
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	0	0	-6	-39	-80
		50	0	4	-4	-36	-73
		80	0	3	-4	-38	-70
	SF=0,5	30	0	-1	-4	-40	-81
		50	0	2	-3	-39	-74
		80	0	-2	-3	-41	-72

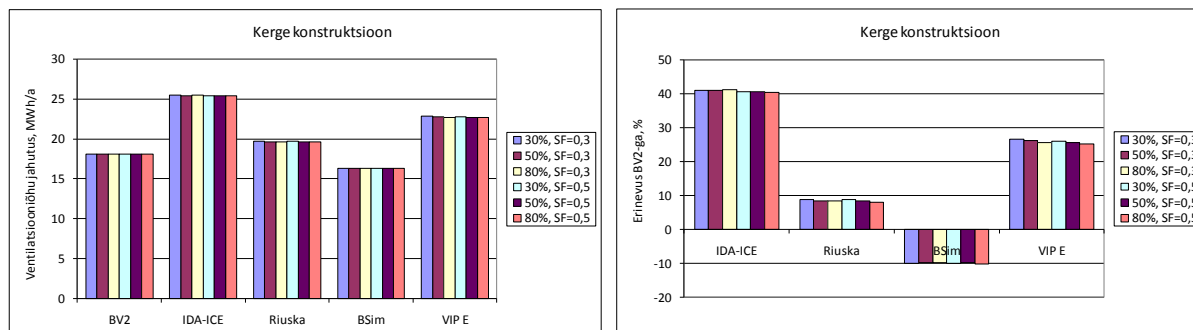


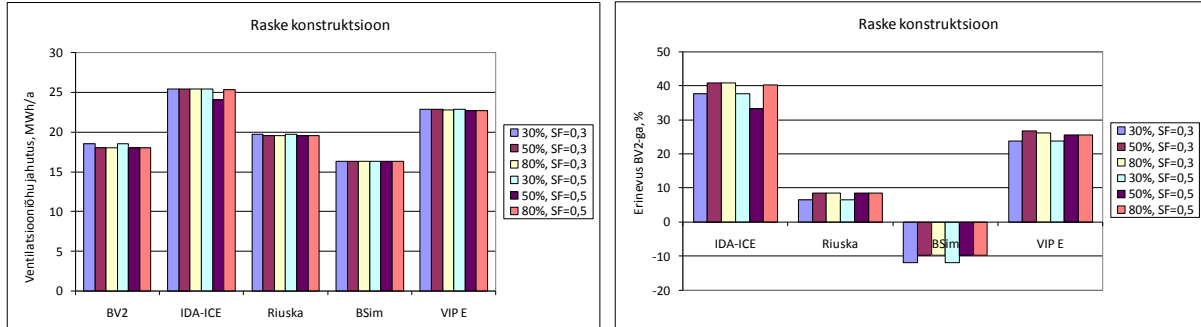
Joonis 7 Ventilatsiooniõhu soojendamine.

Tabel 8 Ventilatsiooniõhu jahutus.

		Absoluutväärtusena, MWh/a					
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSIm	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	18	26	20	16	23
		50	18	25	20	16	23
		80	18	26	20	16	23
	SF=0,5	30	18	25	20	16	23
		50	18	25	20	16	23
		80	18	25	20	16	23
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	19	25	20	16	23
		50	18	25	20	16	23
		80	18	25	20	16	23
	SF=0,5	30	19	25	20	16	23
		50	18	24	20	16	23
		80	18	25	20	16	23

		Erinevus BV2-st, %					
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSIm	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	0	41	9	-10	27
		50	0	41	8	-10	26
		80	0	41	8	-10	26
	SF=0,5	30	0	41	9	-10	26
		50	0	41	8	-10	26
		80	0	40	8	-10	25
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	0	38	6	-12	24
		50	0	41	8	-10	27
		80	0	41	8	-10	26
	SF=0,5	30	0	38	6	-12	24
		50	0	33	8	-10	26
		80	0	40	8	-10	26





Joonis 8 Ventilatsiooniõhu jahutus.

Büroohoone simulatsioonide tulemuste põhjal võib teha järeldada, et:

- Ruumide küte:
 - Eriprogrammide tulemused kõiguvad BV2 suhtes väga suurtes piirides, kuni 68%. Absoluutväärtuselt kuni 28 kWh/a*m²;
 - BV2 arvutustulemused sarnanevad kerge konstruktsiooniga hoonete puhul suhteliselt hästi VIP Energy omadega. Raske konstruktsiooni puhul on erinevus kuni 41%;
 - Programmid IDA-ICE ja Riiska tulemused erinevad omavahel alla 10%, kuid on kuni 57% suuremad kui BV2 tulemused.
- Ruumide jahutus:
 - BV2 jahutusenergia on uuritud programmide teisena kõige suurem. Kõige suurem jahutusenergia tuleb Riuskaga arvutades, ületades kohati BV2 tulemusi kuni 2 korda;
 - IDA-ICE ja Riiska puhul on märgata, et mida suuremaks läheb klaaspinna osakaal välisfassaadist, seda väiksemaks läheb viga BV2-ga;
 - VIP Energy puhul on märgata vastupidist tendentsi, viga BV2 ja aknaklaasi osakaal on omavahel võrdelises seoses, mida suuremaks läheb klaasi pind seda suuremaks läheb viga;
 - Üldjoontes tuleb öelda, et tulemused on vägagi vastuolulised kõikides vahemikus -78...111%;
 - Näiteks 80% klaasfassaadiga kerge hoone puhul jääks jahutusenergia vahemikku 40,3-67,7 kWh/a*m².
- Ventilatsiooniõhu soojendamine:
 - BV2 tulemuse klapiavad IDA-ICE-ga kõikides -4...+8%. Riuskaga on erinevus alla 15%, mida võib ka lugeda rahuldavaks;
 - Bsim tulemused on eelnevast kolmest üle kolmandiku võrra väiksemad, mis on tingitud sellest, et antud programmi ei ole võimalik ette anda soojustagastist väljuva õhu temperatuuri (külmakaitse temperatuuri);
 - VIP+ tulemused on kuni 5 korda väiksemad võrreldes BV2-ga.
- Ventilatsiooniõhu jahutus:
 - BV2 tulemused jäävad täpselt Riiska ja BSim tulemuste vahele, olles Riiska tulemustest 10% väiksemad ning BSim tulemustest 10% suuremad;

- IDA-ICE tulemused on eelnevatest kuni 40% suuremad, mis on tõenäoliselt tingitud sellest, et programmid arvestavad erinevalt varjatud soojuse kondenseerumist ja õhu lõppparameetrid pärast jahutuspaataerid on erinevad;
- VIP Energy tulemused on umbes neljandiku võrra suuremad BV2 tulemustest.

Kuna ventilatsiooniõhu soojendamiseks ja jahutamiseks kulunud energiad on väga varieeruvad, teostati käesoleva töö raames ka suuruste kohta põhjalikum analüüs. Selle tulemused on toodud osas 3.12 *Ventilatsiooni analüüs*.

Alljärgnevalt on uuritud hoone konstruktsiooni, klaaside päikseläbivusteguri ning akende suuruse mõju ruumiküttele ja jahutusele.

Tabel 9 Ruumikütte sõltuvus hoone massiivsusest. Vasakul SF=0,3 paremal SF=0,5.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E			BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	kerge	98	114	126	129	96	Aken 30%	kerge	88	102	109	117	85
	raske	73	105	113	119	88		raske	64	91	95	107	76
	kerge-raske	24	9	13	10	8		kerge-raske	24	11	14	10	9
	kerge/raske	1,33	1,09	1,11	1,08	1,09		kerge/raske	1,38	1,12	1,15	1,10	1,12
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,81	0,84	0,81	0,82		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,81	0,83	0,80	0,81
Aken 50%	kerge	136	166	175	187	146	Aken 50%	kerge	120	147	150	169	129
	raske	115	154	157	175	135		raske	96	131	129	153	115
	kerge-raske	21	12	18	12	11		kerge-raske	24	16	21	16	14
	kerge/raske	1,18	1,08	1,12	1,07	1,08		kerge/raske	1,25	1,12	1,16	1,10	1,13
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,91	0,95	0,90	0,91		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,90	0,93	0,88	0,90
Aken 80%	kerge	206	252	255	266	229	Aken 80%	kerge	175	227	218	243	204
	raske	174	231	224	258	210		raske	126	197	181	224	177
	kerge-raske	32	21	32	8	19		kerge-raske	49	30	37	19	27
	kerge/raske	1,18	1,09	1,14	1,03	1,09		kerge/raske	1,39	1,15	1,20	1,09	1,15
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,92	0,96	0,87	0,92		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,83	0,86	0,78	0,83

Hoone massiivsuse mõju kütteenergiale:

- Kõige rohkem mõjutab hoone massiivsus kütteenergiat BV2 programmiga arvutamisel, kuni 39%;
- BV2 puhul on märgata, et mida suuremaks läheb klaasfassaadi osakaal välispiirdest, seda vähem mõjutab hoone massiivsus ruumide kütteenergiat. Samas ülejäänud programmide puhul on see pigem vastupidi;
- BV2 programmi puhul tuleb välja tuua ka see, et massiivsuse mõju on tunduvalt suurem $g=0,5$ korral kui $g=0,3$ juhul. Teistel programmidel jääb antud erinevus 3..6% juurde, aga BV2 on mõju erinevus kuni 21%. Sellest võib järeldada, et päikese vabasoojuse osakaal kogu vabasoojusest on BV2 puhul oluliselt suurem kui võrdlusprogrammidel.

Tabel 10 Ruumikütte sõltuvus klaaside päiksetegurist. Vasakul kerge- ja paremal raske konstruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	0,3	98	114	126	129	96
	0,5	88	102	109	117	85
	0,3-0,5	10	12	16	12	11
	0,3/0,5	1,11	1,12	1,15	1,10	1,13
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,01	1,03	0,99	1,01
Aken 50%	0,3	136	166	175	187	146
	0,5	120	147	150	169	129
	0,3-0,5	16	19	25	18	17
	0,3/0,5	1,13	1,13	1,17	1,11	1,13
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,00	1,03	0,98	1,00
Aken 80%	0,3	206	252	255	266	229
	0,5	175	227	218	243	204
	0,3-0,5	32	25	37	23	26
	0,3/0,5	1,18	1,11	1,17	1,09	1,13
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,94	0,99	0,93	0,95

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	0,3	73	105	113	119	88
	0,5	64	91	95	107	76
	0,3-0,5	10	14	17	12	12
	0,3/0,5	1,15	1,15	1,18	1,11	1,16
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,00	1,03	0,97	1,01
Aken 50%	0,3	115	154	157	175	135
	0,5	96	131	129	153	115
	0,3-0,5	19	22	28	21	21
	0,3/0,5	1,20	1,17	1,21	1,14	1,18
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,98	1,01	0,95	0,99
Aken 80%	0,3	174	231	224	258	210
	0,5	126	197	181	224	177
	0,3-0,5	49	34	42	34	34
	0,3/0,5	1,39	1,17	1,23	1,15	1,19
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,84	0,89	0,83	0,86

Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide kütteenergiale:

- Klaasfassaadide päikseteguri muutuse mõju kütteenergiale suureneb kõikidel programmidel võrdeliselt akna pinnaga. Eriti suur mõju on BV2 tulemustes raske konstruktsiooniga ning 80% akna puhul, kuni 39%;
- Tabelitest tuleb välja, et BV2 võrdlusprogrammidel on päikseteguri mõju kütteenergiale suhteliselt stabiilne (IDA-ICE $\pm 1\%$, Riuska $\pm 3\%$, BSim $\pm 2\%$, VIP Energy $\pm 2\%$), BV2-l aga $\pm 9\%$;
- Proportsionaalselt klapivad omavahel kõige paremini IDA-ICE ja VIP Energy.

Tabel 11 Ruumikütte sõltuvus klaaside osakaalust. Vasakul kerge- ja paremal raske konstruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	98	114	126	129	96
	80%	206	252	255	266	229
	80%-30%	109	138	129	137	133
	80%/30%	2,11	2,22	2,03	2,06	2,38
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,05	0,96	0,97	1,12
SF=0,5	30%	88	102	109	117	85
	80%	175	227	218	243	204
	80%-30%	87	125	108	126	118
	80%/30%	1,99	2,23	1,99	2,07	2,38
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,12	1,00	1,04	1,20

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	73	105	113	119	88
	80%	174	231	224	258	210
	80%-30%	101	126	111	139	122
	80%/30%	2,38	2,20	1,98	2,16	2,38
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,92	0,83	0,91	1,00
SF=0,5	30%	64	91	95	107	76
	80%	126	197	181	224	177
	80%-30%	62	106	86	117	100
	80%/30%	1,97	2,17	1,90	2,09	2,32
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,10	0,96	1,06	1,17

Välisfassaadi klaaspindade osakaalu mõju ruumide kütteenergiale:

- Klaasfassaadide osakaal mõjutab ruumide kütteenergiat proportsionaalselt kõige enam VIP Energy-ga arvutamisel;
- Absoluutväärtuselt on BV2 mõju kõige väiksem, mis on tingitud kõige väiksemast küttevajadusest;
- Proportsionaalse muutuse suhtes sarnanevad BV2 tulemused kõige paremini Riuska omadega (va. $g=0,3$ raske konstruktsiooni puhul);
- Samas näiteks IDA-ICE ja BV2 tulemused erinevad absoluutväärtustelt kuni kaks korda. Mis teeb $g=0,5$ raske hoone korral $12,5 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}^2$.

Tabel 12 Ruumi jahutusenergia sõltuvus hoone massiivsusest. Vasakul SF=0,3 paremal SF=0,5.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	kerge	23	13	49	10	22
	raske	29	8	42	7	18
	kerge-raske	-6	5	7	3	4
	kerge/raske	0,80	1,63	1,17	1,46	1,20
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	2,04	1,46	1,82	1,50
Aken 50%	kerge	46	31	82	23	37
	raske	37	21	73	16	30
	kerge-raske	9	10	9	6	7
	kerge/raske	1,24	1,50	1,12	1,40	1,25
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,21	0,90	1,12	1,00
Aken 80%	kerge	86	63	133	53	66
	raske	70	40	117	35	49
	kerge-raske	16	23	16	18	17
	kerge/raske	1,23	1,56	1,14	1,50	1,35
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,27	0,93	1,22	1,10

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	kerge	59	42	90	30	49
	raske	55	34	81	26	43
	kerge-raske	4	8	10	4	5
	kerge/raske	1,07	1,23	1,12	1,17	1,13
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,15	1,05	1,09	1,05
Aken 50%	kerge	120	86	152	68	87
	raske	105	75	139	56	74
	kerge-raske	15	10	13	12	13
	kerge/raske	1,15	1,14	1,09	1,22	1,17
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,99	0,95	1,06	1,02
Aken 80%	kerge	218	155	237	141	155
	raske	190	121	222	109	125
	kerge-raske	28	35	15	32	30
	kerge/raske	1,14	1,29	1,07	1,29	1,24
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,12	0,93	1,13	1,08

Hoone massiivsuse mõju ruumide jahutusenergiale:

- Hoone massiivsuse mõju jahutusenergiale on kõige suurem programmide IDA-ICE ja BSim puhul, kuni 63%;
- BV2 puhul on märgata, et raske, väikse akna pinna ja päikseläbivusteguri 0,3 juures on jahutusenergia suurem kui kerge konstruktsiooni puhul. Võrdlusprogrammidel sellist nähtust ei esine. Loogiliselt võttes peaks raske konstruktsiooni korral kuluma vähem jahutusenergiat;
- Hoone massiivsuse mõju ruumide jahutusele on kõige väiksem Riuska puhul, jäädes 7-17% juurde;
- Absoluutväärtustelt on programmide omavaheline erinevus maksimaalselt 20 MWh/a, mis teeb 5,7 kWh/a*m².

Tabel 13 Ruumi jahutueenergia sõltuvus klaaside päiksetegurist. Vasakul kerge- ja paremal raske kontsruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	0,3	23	13	49	10	22
	0,5	59	42	90	30	49
	0,3-0,5	-36	-29	-41	-21	-27
	0,3/0,5	0,39	0,32	0,54	0,31	0,45
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,80	1,38	0,80	1,14
Aken 50%	0,3	46	31	82	23	37
	0,5	120	86	152	68	87
	0,3-0,5	-74	-55	-70	-45	-50
	0,3/0,5	0,38	0,36	0,54	0,33	0,43
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,94	1,40	0,86	1,11
Aken 80%	0,3	86	63	133	53	66
	0,5	218	155	237	141	155
	0,3-0,5	-132	-92	-104	-89	-88
	0,3/0,5	0,40	0,41	0,56	0,37	0,43
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,02	1,41	0,94	1,08

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	0,3	29	8	42	7	18
	0,5	55	34	81	26	43
	0,3-0,5	-26	-26	-39	-19	-25
	0,3/0,5	0,53	0,24	0,52	0,25	0,42
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,45	0,99	0,48	0,80
Aken 50%	0,3	37	21	73	16	30
	0,5	105	75	139	56	74
	0,3-0,5	-68	-55	-67	-40	-45
	0,3/0,5	0,35	0,27	0,52	0,29	0,40
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,77	1,47	0,82	1,13
Aken 80%	0,3	70	40	117	35	49
	0,5	190	121	222	109	125
	0,3-0,5	-120	-80	-106	-74	-76
	0,3/0,5	0,37	0,33	0,52	0,32	0,39
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,90	1,42	0,87	1,06

Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide jahutusenergiale:

- Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide absoluutsele jahutusenergiale (kWh/a) on kerge konstruktsiooniga hoonetel kõige suurem BV2 programmi puhul, raske konstruktsiooniga hoonetel ei ole see üheselt välja toodav;
- Proportsionalselt on kõige väiksem mõju Riuskaga arvutades, mis on ka igati loogiline kuna absoluutväärtustelt on Riуска jahutusvajadus kõige suurem;
- BV2 tulemustele on väga keeruline võrdlusprogrammide hulgast leida lähedasi tulemusi. Kerge konstruktsiooni puhul võib laiades piirides leida sarnasusi IDA-ICE tulemustega. Raske konstruktsiooni tulemused on väga varieeruvad ning ei klapi ühegi teise programmiga.

Tabel 14 Ruumi jahutusenergia sõltuvus klaaside osakaalust. Vasakul kerge- ja paremal raske konstruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riуска	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	23	13	49	10	22
	80%	86	63	133	53	66
	80%-30%	63	50	83	43	45
	80%/30%	3,69	4,70	2,69	5,53	3,05
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,27	0,73	1,50	0,82
SF=0,5	30%	59	42	90	30	49
	80%	218	155	237	141	155
	80%-30%	159	113	147	111	106
	80%/30%	3,68	3,67	2,62	4,65	3,18
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,00	0,71	1,27	0,87

		BV2	IDA-ICE	Riуска	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	29	8	42	7	18
	80%	70	40	117	35	49
	80%-30%	41	32	75	29	31
	80%/30%	2,42	4,93	2,77	5,38	2,72
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	2,04	1,15	2,22	1,12
SF=0,5	30%	55	34	81	26	43
	80%	190	121	222	109	125
	80%-30%	135	86	142	83	82
	80%/30%	3,44	3,51	2,76	4,22	2,90
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,02	0,80	1,23	0,84

Välisfassaadi klaaspindade osakaalu mõju ruumide jahutusenergiale:

- Klaasfassaadide suurenemine avaldab kõige suuremat mõju ruumide jahutusele BSim programmi puhul (kuni 2,2 korda rohkem kui BV2-ga).

3.3.3 Järeldused büroohoone arvutuste kohta

1. Eriprogrammide ruumide kütte tulemused kõiguvad BV2 suhtes väga suurtes piirides, kuni 68%. Absoluutväärtuselt kuni 28 kWh/a*m².
2. Programmid IDA-ICE ja Riуска tulemused erinevad omavahel alla 10%, kuid on kuni 57% suuremad kui BV2 tulemused.
3. BV2 jahutusenergia on uuritud programmide teisena kõige suurem. Kõige suurem jahutusenergia tuleb Riuskaga arvutades, ületades kohati BV2 tulemusi kuni 2 korda.
4. Üldjoontes tuleb öelda, et tulemused on vägagi vastulülised kõikides vahemikus - 78...111%.
5. Näiteks 80% klaasfassaadiga kerge hoone puhul jääks jahutusenergia vahemikku 40,3-67,7 kWh/a*m².
6. Antud programmide tulemuste põhjal võib järeldada, et BV2 arvestab ilmselt vabasoojusi liiga palju. Eelnevatele arvutustele tuginedes võib öelda, et BV2 programmi ei tohiks kasutada suurte vabasoojustega hoonete puhul.

3.3.4 Vabasoojuse mõju ruumide kütte- ja jahutusenergiale

Varasemad arvutused näitasid eriprogrammide lõikes suuri erinevusi. Uurimaks vabasoojuse mõju arvutustulemustele teostati büroohoonele täiendavad arvutused, kus analüüsiti büroohoone kütte- ja jahutuse netoenergiavajadust järgmiste variantide korral:

- Klaasid on läbipaistmatud ($g=0$), ventilatsioon puudub;
- Klaasi pind on 30, 50 või 80 % fassaadist, sisemised vabasoojused puuduvad, ventilatsioon puudub.

Simulatsioonid teostati järgmiste tarkvaradega:

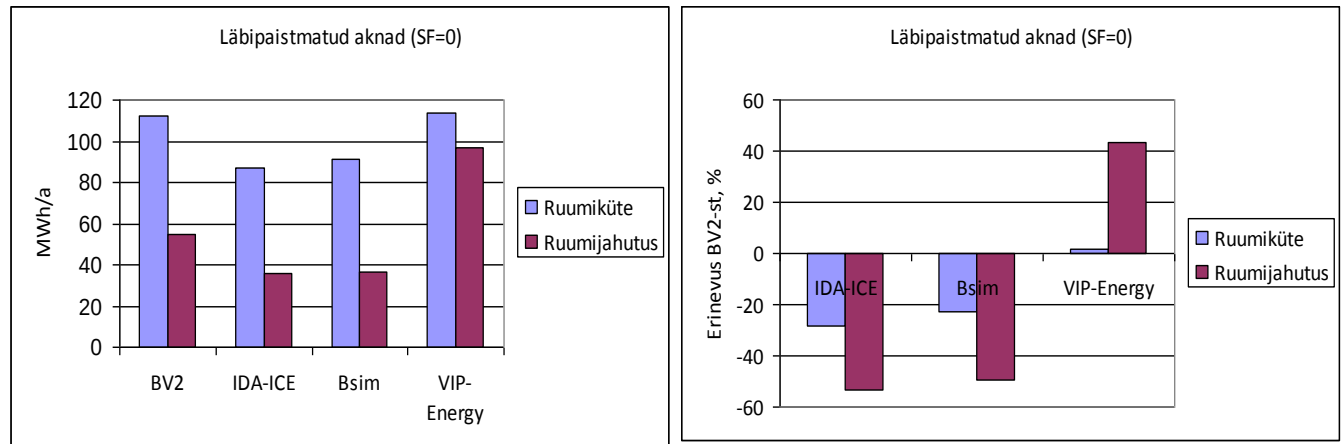
- BV2 3 eri inimest;
- IDA 2 eri inimest;
- VIP-Energy 2 eri inimest;
- BSim 1 inimene.

Kasutati läbipaistmatuid aknaid ($g=0$), et eemaldada päikesest tulenev vabasoojuseraldus ruumi. Hoone konstruktsioon on kerge. Ruumide vabasoojuseraldused (inimesed, seadmed ja valgusuts) ja kasutusprofiilid on samased büroohoones kasutatuga.

Järgnevates tabelites ja joonistel on esitatud analüüsi tulemused

Tabel 15 Ruumiküte ja ruumijahutus.

	Absoluutväärtusena, MWh/a						Erinevus BV2-st, %				
	Aken, %	BV2	IDA-ICE	Bsim	VIP-Energy		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Bsim	VIP-Energy
Ruumiküte	0	112	87	91	114	Ruumiküte	0	0	-29	-23	1
Ruumijahutus	0	55	36	37	97	Ruumijahutus	0	0	-53	-49	43



Joonis 9 Ruumiküte ja ruumijahutus.

Läbipaistmatute akendega mudeli simulatsiooni tulemustest võib järeldada:

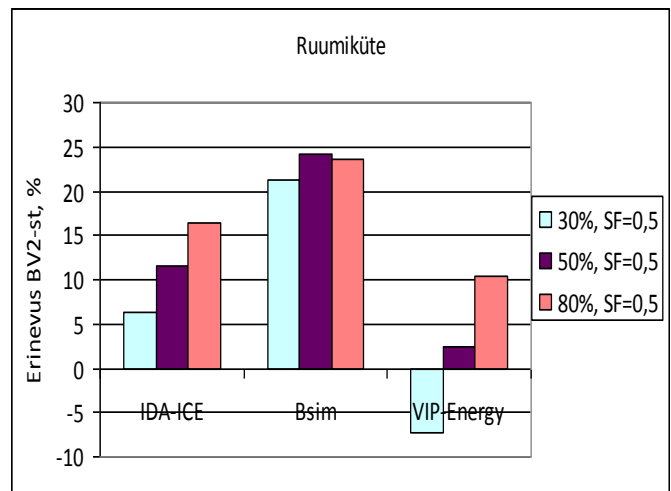
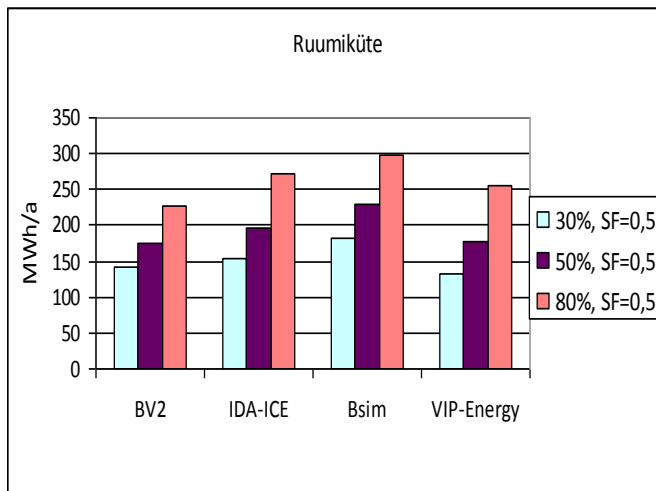
- Ruumide küte:
 - Eriprogrammide tulemused kõiguvad BV2 suhtes suurtes piirides, kuni 29%;
 - BV2 näitaja on samas suurusjärgus VIP-Energy tulemusega, vahe on kõigest 1%.
- Ruumide jahutus:
 - Erinevused programme vahel on väga suured. VIP-Energy tulemus on arusaamatult kõrge olles IDA-ICE ja Bsim'i tulemusest üle kahe korra kõrgem;
 - Ka BV2 tulemus on võrreldes IDA-ICE ja Bsim'i tulemustega märksa kõrgem.

3.3.5 Otsese päikese kiirguse mõju ruumide kütte- ja jahutusenergiale

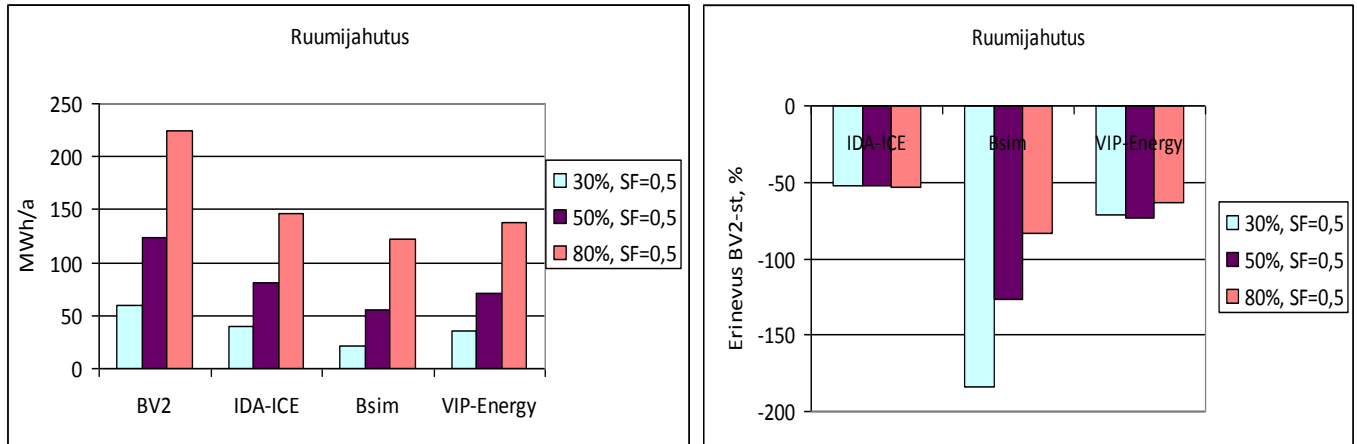
Ainult päikesest tuleneva vabasoojuseralduse uurimiseks teostati mudel, kust eemaldati lisaks ventilatsioonisüsteemile ka vabasoojused (inimesed, seadmed, valgustus). Tegemist on kerge büroohoone tüübiga, klaaside $SF=0,5$ ja ülejäänud lähteandmed on samad, mis varem teostatud bürooonetel. Järgnevates tabelites ja joonistel on esitatud analüüsi tulemused.

Tabel 16 Ruumiküte.

	Absoluutväärtusena, MWh/a						Erinevus BV2-st, %				
	Aken, %	BV2	IDA-ICE	Bsim	VIP-Energy		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Bsim	VIP-Energy
Kerge konstruktsioon, SF=0,5	30	143	153	181	133	Kerge konstruktsioon, SF=0,5	30	0	6	21	-7
	50	174	197	230	178		50	BV2	11	24	2
	80	228	273	298	255		80	60	16	24	10

**Joonis 10** Ruumiküte.**Tabel 17** Ruumijahutus.

	Absoluutväärtusena, MWh/a						Erinevus BV2-st, %				
	Aken, %	BV2	IDA-ICE	Bsim	VIP-Energy		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Bsim	VIP-Energy
Kerge konstruktsioon, g=0,5	30	60	39	21	35	Kerge konstruktsioon, g=0,5	30	0	-53	-184	-71
	50	124	81	55	71		50	0	-53	-126	-74
	80	225	147	122	138		80	0	-53	-84	-63

**Joonis 11** Ruumijahutus.

Klaaspinna osakaalu mõju arvutustulemustele on toodud alljärgnevas tabelis:

Tabel 18 Klaasfassaadi osakaalu mõju ruumijahutusele ja küttele.

		BV2	IDA	Bsim	VIP-Energy
Ruumiküte	50%-30%	31	44	49	45
	50%/30%	1,22	1,29	1,27	1,34
	80%-30%	85	120	117	122
	80%/30%	1,59	1,78	1,65	1,92
Ruumijahutus	50%-30%	64	42	34	36
	50%/30%	2,07	2,08	2,62	2,03
	80%-30%	165	108	101	103
	80%/30%	3,75	3,77	5,81	3,94

Sisemiste vabasoojuseraldusteta mudeli simulatsiooni tulemustest võib järeldada:

- Ruumide küte:
 - Eriprogrammide tulemused kõiguvad BV2 suhtes suurtes piirides, kuni 24%;
 - Suurim erinevus on BV2-l Bsim-iga. See on põhjendatav kuna Bsim-i arvestab vähem päikeseenergiat ja tänu sellele on tema küttevajadus suurem ning jahutusevajadus väiksem;
 - Klaaspinna kasvades suurenes absoluutväärtusena vähim BV2 tulemus, kuid ka teiste programmide absoluutväärtuse kasv on ligikaudu samane;
 - Proportsionaalne kasv on BV2-l väikseim.

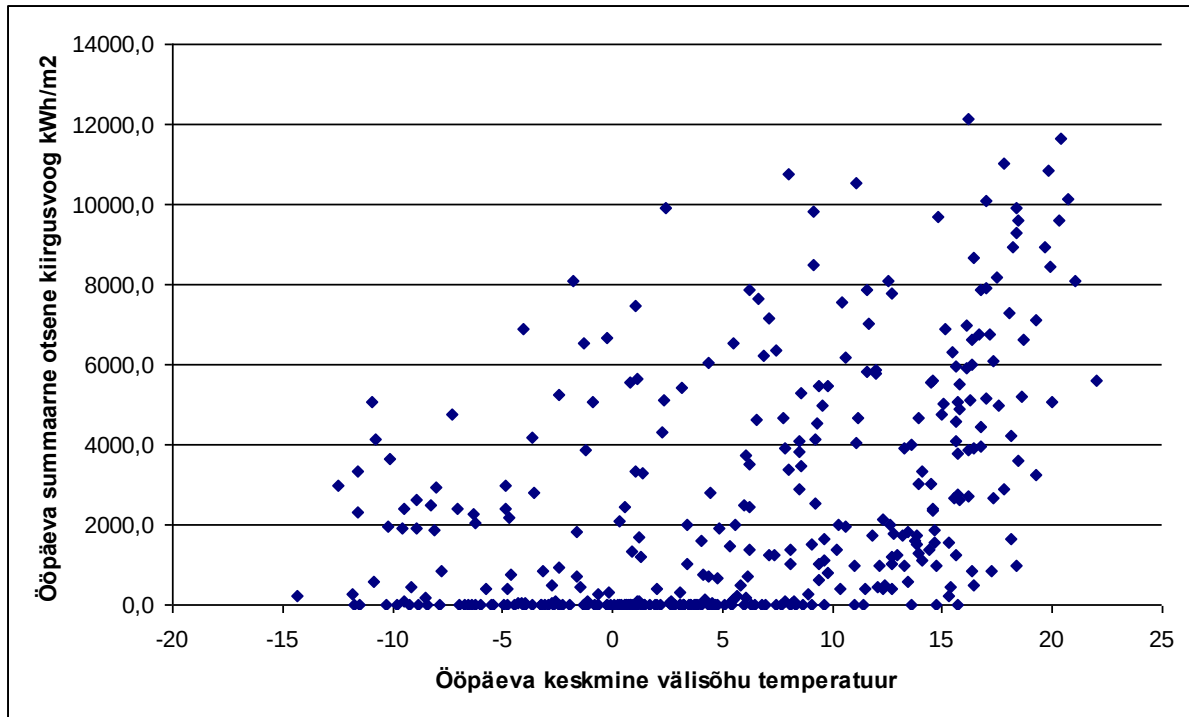
- Ruumide jahutus:
 - Jahutusenergia kõigub väga suurtes piirides olles BV2-l suurim, järelikult; arvestab ta rohkem päikese vabasoojuseraldusi, seda tõendab ka BV2 väike küttevajadus;
 - Klaaspinna kasvades suurenes absoluutväärtusena enim BV2 tulemus, teiste programmide absoluutväärtuse kasv oli omavahel sarnasem;
 - Proportsionaalse muutuse poolest oli BV2 tulemus samas suursuurusjärgus IDA-ICE ja VIP Energy'ga. BSim tulemus kasvas proportsionaalselt märksa rohkem, mis on seletatav BSim oluliselt väiksema absoluutväärtusega 30 % klaaspinna juures.

3.3.6 Järeldused büroohoone täiendava analüüsi kohta

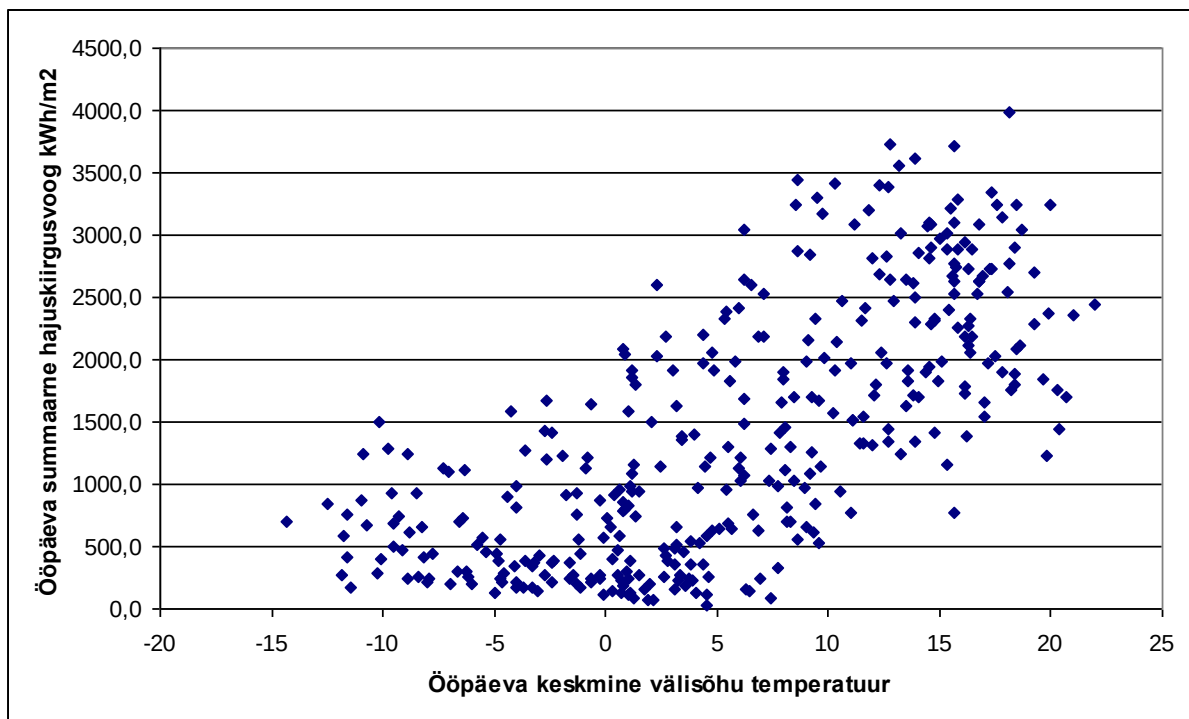
- 1 BV2 arvestab liiga palju päikseenergiat. Seda on ilmekalt näha ilma vabasoojuseraldusteta ja ventilatsioonita arvutuste juures, kus BV2 jahutusvajadus on märgatavalt suurem võrreldes teistega. Akna osakaalu suurendamisega jääb erinevus teiste programmidega proportsionaalselt samasse suurusjärku.
- 2 Arvutustes, kus on välditud päikseenergia ligipääs ruumi, on BV2 kütteenergia vajadus kui ka jahutusvajadus võrreldes teistega suurem (v.a VIP-Energy).
- 3 Arusaamatu tundub VIP-Energy arvutusmetoodika, kui ilma päikesekiirgusest on jahutusvajadus programmide ülekaalukalt suurim, siis koos päikesekiirgusega on jahutusevajadus võrreldes teisega väiksem.

BV2 üheks iseärasuseks on see, et kogu arvutus toimub nn. kestuskõvera põhimõttel, kus üheks oluliseks parameetrik on välisõhu temperatuur (välispiirete dünaamika arvestamisel nn fiktiivne välisõhu temperatuur). Programm ei lähtu tegelikust tunnistest päikesekiirgusvoogudest klaasipinnale, vaid olulisest lihtsustusest, kus päikesekiirgus vertikaalpinnale on funktsioon ööpäeva keskmisest välisõhu temperatuurist. Kliima faili on töödeldud nii, et ööpäeva keskmisele temperatuurile leitakse arvutuslikul teel sõltuvalt pinna orientatsioonist ööpäeva summaarne otse ja hajuskiirgusvoog, mis omakorda jagatakse teatud algoritmi järgi laiali antud ööpäeva tundidele.

Alljärgneval graafikul on toodud energiatõhususe arvutustes kasutatava kliimafaili põhjal koostatud ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri ja vastava ööpäeva päikesekiirtega risti oleva pinna summaarne otse kiirgusvoog ning summaarne hajuskiirgusvoog.



Joonis 12 Ööpäeva keskmine välisõhutemperatuur ja summaarne otsesekiirgus.



Joonis 13 Ööpäeva keskmine välisõhutemperatuur ja summaarne hajuskiirgus.

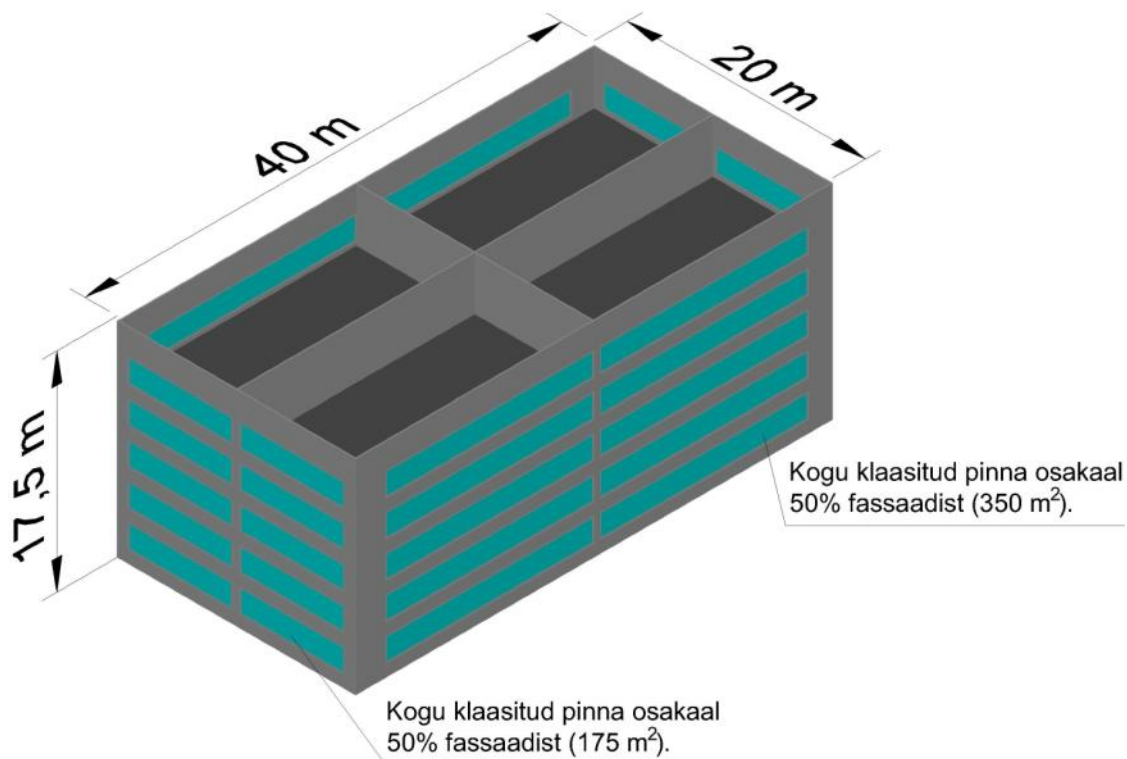
Nagu graafikutelt näha kõigub päikesekiirgus sõltuvalt välisõhu temperatuurist väga suurtes piirides ja energiaarvutuste baasaasta (nn Eesti TRY) korral on küllaltki komplitseeritud leida nende vahel adekvaatset seost. Ilmselt see lihtsustus võib olla üheks asjaoluks, miks BV2'ga arvutades on üldjuhul päikesest tulenev vabasoojuse mõju oluliselt erinev (ruumide kütet vähem ja jahutust rohkem) võrdlusprogrammidega saadust.

3.3.7 Tsoonide mõju energiatõhususe arvutustulemustele

Käesoleva töö raames uuriti hoone mudeli ülesehituse mõju energiatõhususe arvutustulemustele. Määrus 258 ei sätesta üheselt arvutusmodelite ülesehituse põhimõtteid sealhulgas hoone tsoonideks jagamise põhimõtteid, st mitmeks tsooniks arvutatav hoone jagati sõltub põhiliselt arvutuse teostajast, tema pädevusest ja kogemustest. Käesoleva töö raames uuriti tsoonide arvu mõju ruumide kütte ja jahutuse netoenergiale.

Alljärgnevalt on toodud mõju illustreerimiseks näide büroohoone mudeli põhjal, kus hoone on kerge ja raske konstruktsiooniga, aknapinna osakaal on 50% ja päikseläbivusteguriga 0,5.

Ülejäänud parameetrid (U-arvud, pinnad, infiltratsioon, õhuvooluhulgad, standardkasutused ja –profiilid) olid samad, mis ülejäänud büroo hoone arvutuste korral (vt peatükki 3.3.1). Võrreldud on ruumide kütte- ja jahutusenergia ning ventilatsiooniõhu kütte- ja jahutusenergia muutust 1 ja 20 tsooni korral. 1. tsooni korral oli vaadeldi kogu hoonet ühe tsoonina (ruumina), 20. tsooni korral oli hoone jagatud korrusteks ja iga korrus põhja-lõuna ja ida-lääs suunaliste vertikaalseintega neljaks, st igal korrusel oli 4 ühesuguse põrandapindala tsooni (ruumi). 20 tsooni mudelit illustreerib alljärgnev joonis.



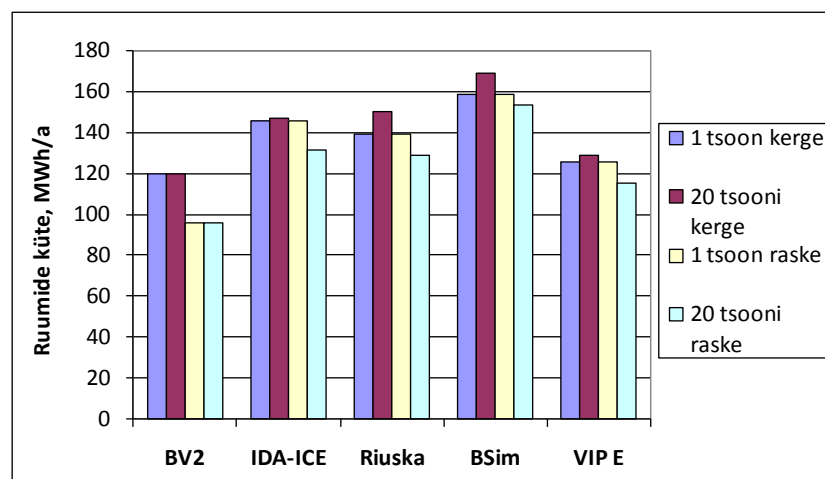
Joonis 14 Büroo jaotatuna erinevateks tsoonideks.

BV2 võimaldab sisestada ainult ühetsoonilist hoonemudelit, seetõttu tulemused ei muutu tsoonide arvu suurenemisega. Ka VIP Energy on sisuliselt ühetsooni mudel, 20 tsooni mudeli osaliseks imiteerimiseks lisati ühe tsooni mudelisse vastavate pindaladega ja parameetritega siseseinad ja vahelaed.

1. ja 20. tsoonide simulatsioonide tulemused on toodud alljärgnevates tabelites ja graafikutel.

Tabel 19 Ruumide kütte kerge konstruktsiooniga hoonel (üleval) ja raske konstruktsiooniga hoonel (all).

Ruumide kütte, MWh/a					
Tsoonide arv	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
1	120	146	139	159	125
20	120	147	150	169	129
20-1	0	2	11	10	4
20/1	1,00	1,01	1,08	1,07	1,03
Ruumide kütte, MWh/a					
Tsoonide arv	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
1	96	146	139	159	125
20	96	131	129	153	115
20-1	0	-14	-10	-5	-10
20/1	1,00	0,90	0,93	0,97	0,92



Joonis 15 Ruumide kütte.

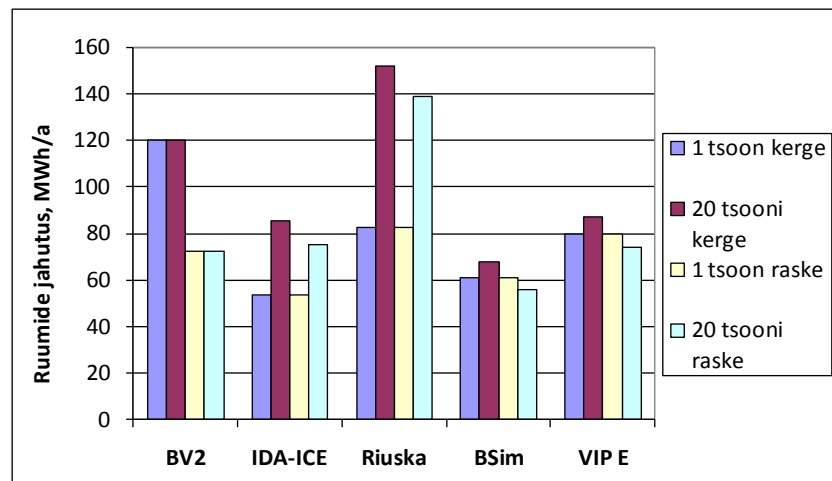
Tsoonide arvu muutuse mõju ruumide kütteenegiavajadusele:

- Tulemused muutusid koos tsoonide arvu muutmisega kõigil programmidel, mis võimaldasid mitmetsoonilist arvutust. Kerge konstruktsiooni korral 20 tsooni korral kütteenegiatarve suurenes (1,01 kuni 1,08 korda). Raske konstruktsiooniga hoone korral kütteenegiavajadus vähenes (0,90-0,97 korda);

- Kõikide programmide tulemused on raske konstruktsiooni korral väiksemad, kui kerge konstruktsiooni korral.

Tabel 20 Ruumide jahutus kerge konstruktsiooniga hoonel (üleval) ja raske konstruktsiooniga hoonel (all).

Ruumide jahutus, MWh/a					
Tsoonide arv	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
1	120	53	82	61	80
20	120	86	152	68	87
20-1	0	32	70	7	7
20/1	1,00	1,60	1,85	1,11	1,09
Ruumide jahutus, MWh/a					
Tsoonide arv	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
1	72	53	82	61	80
20	72	75	139	56	74
20-1	0	22	57	-5	-6
20/1	1,00	1,41	1,69	0,91	0,93



Joonis 16 Ruumide jahutus.

Tsoonide arvu muutuse mõju ruumide jahutusenergiavajadusele:

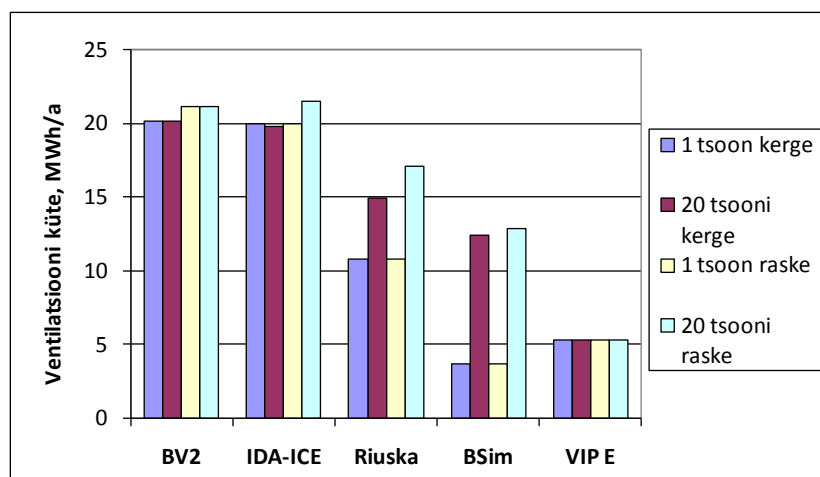
- Tulemused muutusid koos tsoonide arvu muutmisega kõigil programmidel, mis võimaldasid mitmetsoonilist arvutust. Võrreldes ruumide kütteenergia on muutus suurem;
- Kerge konstruktsiooni korral suurenes 20 tsooniga hoone puhul jahutusenergiavajadus 1,09 kuni 1,85 korda;
- Raske konstruktsiooni korral IDA-ICE ja Riuska jahutusenergia tulemused suurenesid 20 tsooniga hoonemudelis;

- BV2 ja Bsim raske konstruktsiooniga hoonemudeli puhul tsoonide arvu suurenemisega ruumide jahutusenergiavajadus vähenes;
- Kuna ruumide jahutusvajadus üldjuhul suurenes tsoonide arvu suurenemisega, siis võib järeldada, et programmid arvestavad hoonet läbiva päikesekiirgusega, kui vaheseinad puuduvad.

Tabel 21 Ventilatsiooniõhu küte kerge konstruktsiooniga hoonel (üleval) ja raske konstruktsiooniga hoonel (all).

Ventilatsiooniõhu küte, MWh/a					
Tsoonide arv	BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP E
1	20	20	11	4	5
20	20	20	15	12	5
20-1	0	0	4	9	0
20/1	1,00	0,99	1,39	3,35	1,00

Ventilatsiooniõhu küte, MWh/a					
Tsoonide arv	BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP E
1	21	20	11	4	5
20	21	22	17	13	5
20-1	0	2	6	9	0
20/1	1,00	1,08	1,59	3,49	1,00



Joonis 17 Ventilatsiooniõhu küte.

Tsoonide arvu muutuse mõju ventilatsiooni sissepuhkeõhu soojendamisele:

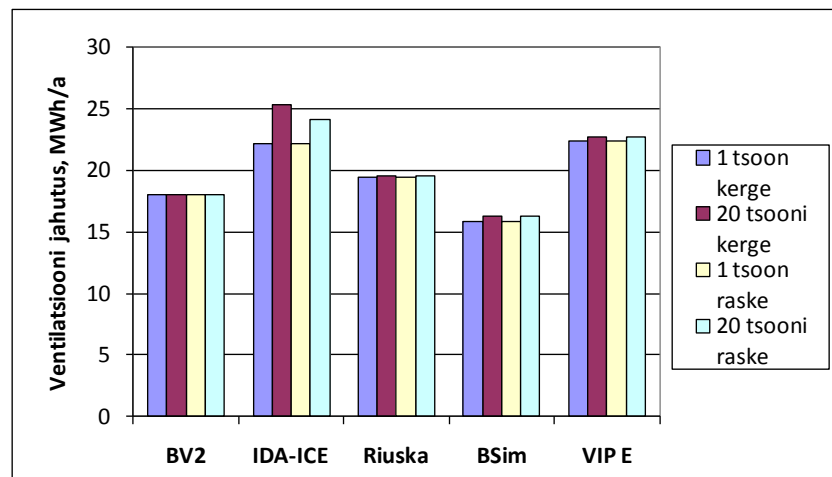
- Tsoonide arvu muutmisega muutusid nii kerge, kui raske konstruktsiooni korral kahe programmi Riuska ja Bsim tulemused;

- BSim ventilatsiooniõhu soojendamiseks vajaminev energia suurenes 20 tsooniga hoonevariandi korral enam kui 3 korda. Selline muutus jääb arusaamatuks;
- IDA-ICE puhul suurenes ventilatsiooni sissepuhkeõhu soojendamiseks kuluv energia ainult raske konstruktsiooni 20 tsooni korral. (2 MWh aastas).

Tabel 22 Ventilatsiooniõhu jahutus kerge konstruktsiooniga hoonel (üleval) ja raske konstruktsiooniga hoonel (all).

Ventilatsiooniõhu jahutus, MWh/a					
Tsoonide arv	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
1	18	22	20	16	22
20	18	25	20	16	23
20-1	0	3	0	0	0
20/1	1,00	1,15	1,00	1,00	1,01

Ventilatsiooniõhu jahutus, MWh/a					
Tsoonide arv	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
1	18	22	20	16	22
20	18	24	20	16	23
20-1	0	2	0	0	0
20/1	1,00	1,09	1,00	1,00	1,01



Joonis 18 Ventilatsiooniõhu jahutus kerge konstruktsiooniga hoonel (üleval) ja raske konstruktsiooniga hoonel (all).

Tsoonide arvu muutuse mõju ventilatsiooni sissepuhkeõhu jahutamisele:

- Ventilatsiooniõhu jahutuse tulemused muutuvad kõige vähem koos tsoonide arvu muutusega;

- Ainus program, mille tulemused märgatavalt muutusid koos tsoonide arvu muutusega on IDA-ICE . Kerge konstruktsiooni korral suurenes energiavajadus 1,15 ja raske konstruktsiooni korral 1,09 korda.

Tsoonide arvu võrdluste põhjal võib teha järgmised üldistused:

1. Arvutustsoonide arvu on mõju ruumide kütteenergiale;
2. Arvutusstsoonide arvu on suur mõju ruumide jahutusenergiale;
3. Tsoonide arvu on osadel programmidel mõningane mõju ventilatsiooni jahutus- ja kütteenergiale;
4. Tsoonide arvu mõju sõltub hoone ehitus-füüsikalistest parameetritest (massiivsus, akende pindalad ja parameetrid jms);
5. Tsoonide arvu mõju on tingitud järgmistest aspektidest[8].
 - a. Hoone soojuslik mahtuvus: rohkemate tsoonide arv korral võetakse arvutustes arvesse suurem sisemine soojuslik mahtuvus, mis võimaldab suuremal hulgal soojust/külma salvestada (puhverdada).
 - b. Kevad-sügisperioodil, mil päike mõju hoone soojusbilansis on suur ja väljas on suhteliselt madalad välisõhu temperatuurid ja hoone erifassaadidel paiknevad vaheseintega eraldatud ruumid, siis on vaja näiteks hommikupoolikul päiksepoolisel fassaadil paiknevaid ruume jahutada ja vastas fassaadil olevaid kütta. Õhtupoolikul aga vastupidi. See tähendab hoonet on vaja samaaegselt küttea ja jahutada, milleks kulub energiat. Kui korrust või hoonet vaadeldakse ühe tsoonina, siis ühe hoone poole soojuskadu ja teise poole päikeseenergia kompenseerivad teineteist ning jahutus ja küttevajadus on oluliselt väiksem.
 - c. Osade programmide (näiteks IDA-ICE) arvutusmootorid arvutada päiksekiirgust niivõrd täpselt, et päikese otsekiirgus paistab läbi maja, st kui päikesekiir paistab ühe fassaadi akendest sisse, puuduvad vaheseinad ning päikekiir jõuab teise fassaadi klaaspinnale, siis osa päikeseenergiast (otsekiirgus) läheb läbi akna välja ja ei soojenda tsooni. Kui päikesekiirel on ees vaheseinad (näiteks 20 tsooni mudel), siis jääb majja tulnud päikesekiirgus konkreetse tsooni, mistõttu väheneb antud tsooni (ka kogu maja) ruumide kütteenergia ja suureneb jahutusenergia.
6. Mudelite ülesehitamine ja energiatõhususe tõendamise arvutamise teostajal peavad olema kõrged erialased teadmised ja piisav töökogemus.

3.4 Koolimaja

Järgnevalt on teostatud koolimaja analüüs. Esmalt on esitatud lähteandmed, edasi tulemused ja siis järeldused.

3.4.1 Koolimaja lähteandmed

Järgnevalt on kirjeldatud koolimaja arvutustes kasutatud lähteandmeid. Arvutuste aluseks on võetud viiekordne hoone orientatsiooniga põhja-lõuna suunal (suurem fassaad ida ja lääne suunal).

Simulatsioonid teostati järgmiste tarkvaradega:

- BV2 3 (arvutuse teostas 3 eri inimest);
- IDA 2 eri inimest;
- Riuska 3 eri inimest;
- VIP+ 2 eri inimest;
- BSim 1 inimene.

Lisaks on iga arvutus teostatud kolme variandina:

- Klaasfassaadi osakaal fassadist 30% (akna raami osakaal 10%);
- Klaasfassaadi osakaal fassadist 50% (akna raami osakaal 10%);
- Klaasfassaadi osakaal fassadist 80% (akna raami osakaal 10%).

Kahe alternatiivse aknaklaasi päikeseläbivus teguri g väärtustega:

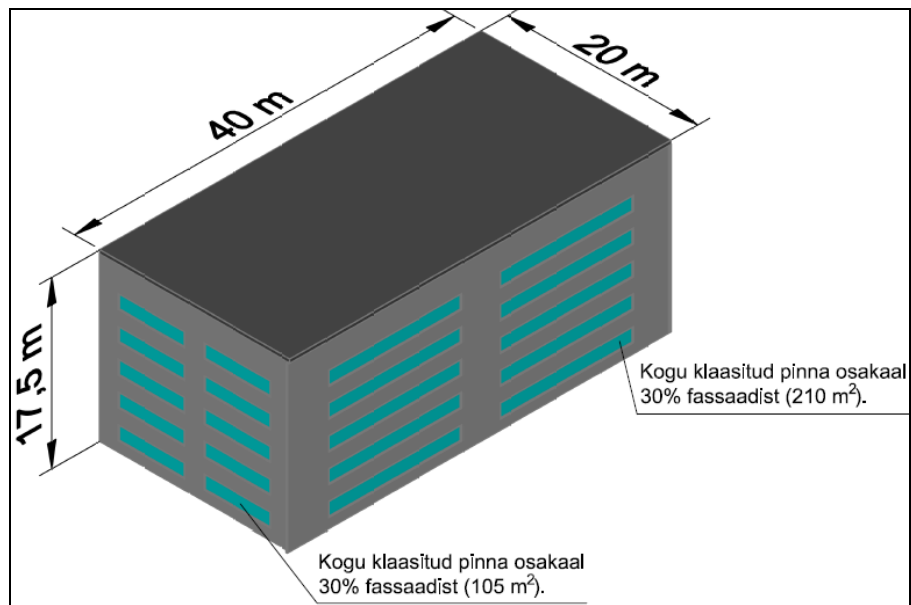
- Klaasi päikeseläbivus tegur $g = 0,30$;
- Klaasi päikeseläbivus tegur $g = 0,50$.

Ja kahe alternatiivse konstruktsiooniga ehitisega:

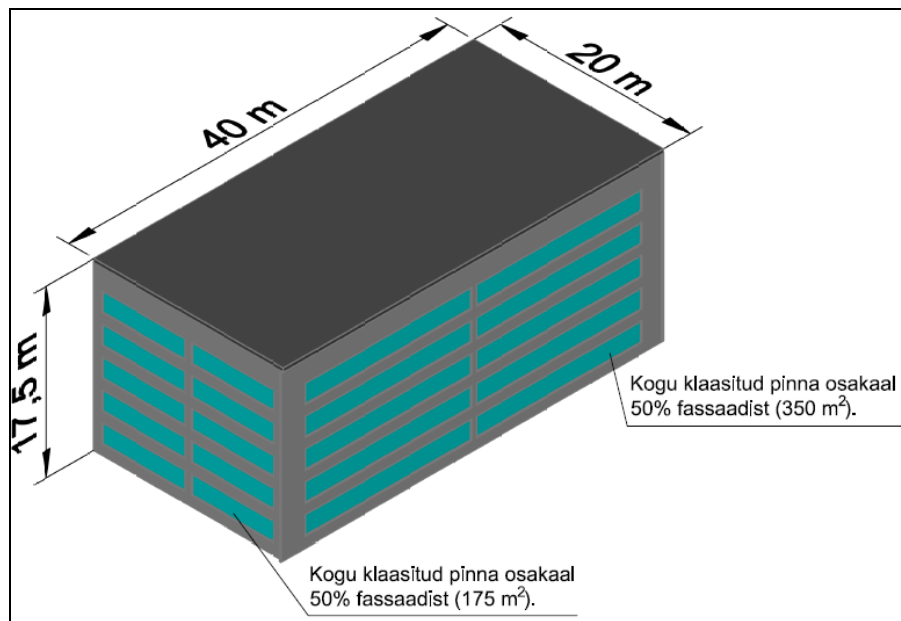
- Kergkonstruktsioonist ehitisena;
- Raskekonstruktsioonist ehitisena.

Hoone energiaarvutused on teostatud vastavalt 1 tsooni mudelina programmidele BV2 ja VIP Energy (arvestades vahesinte ja -lagedega) ning 20 tsooni mudelina programmidele IDA-ICE, Riuska ja BSim.

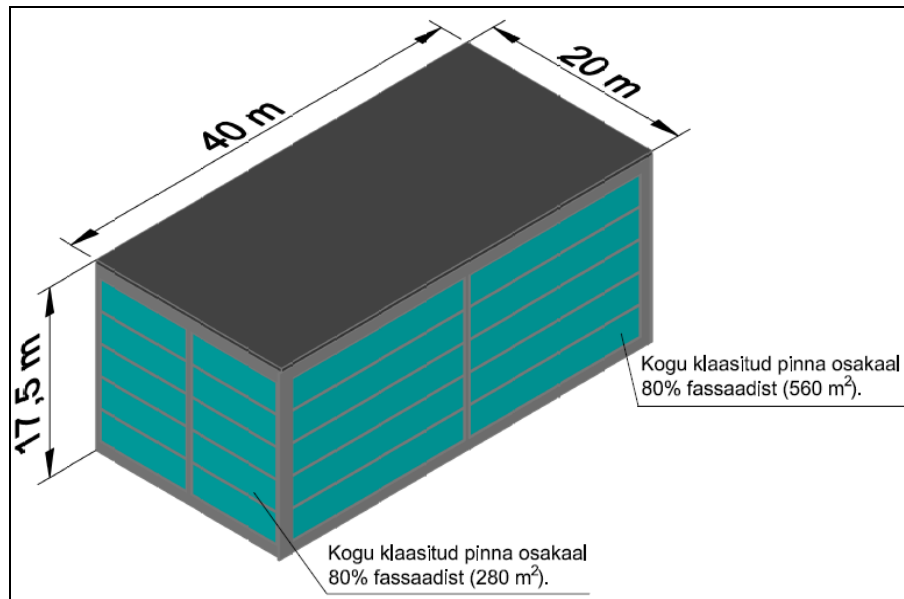
Järgnevalt on esitatud illustreeriv joonis arvutustes kasutatud koolimaja kohta.



Joonis 19 Koolimaja, akna osakaal 30% hoone välisfassaadist.



Joonis 20 Koolimaja, akna osakaal 50% hoone välisfassaadist.



Joonis 21 Koolimaja, akna osakaal 80% hoone välisfassaadist.

Järgnevalt on esitatud täpsed lähteandmed arvutustes kasutatud koolimaja kohta.

Tabel 23 Koolimaja lähteandmed.

Hoone temperatuurid:

Madalaim lubatud ruumiõhu temperatuur	21 °C
Kõrgeim lubatud ruumiõhu temperatuur	25 °C

Ventilatsioon:

Sissepuhkeõhu temperatuur	18°C
Ventilatsiooni soojustagasti temperatuuri suhtarv	80%
Ventilatsiooni tööaeg	Ventilatsioon töötab 1 tund enne ja peale ruumi kasutusaega ehk kella 07:00 – 17:00; 5 päeva nädalas tööpäevadel. Ülejäänud ajal ventilaatorid seisavad.
Ventilatsiooni õhuvooluhulgad	4 l/s*m ² (14012 l/s)

Vabasoojused (arvutustes on kasutatud keskmise vabasoojuse kasutusastet).

Kasutusaeg	08:00-16:00; 5 päeva nädalas
Keskmine kasutusaste	0,6 (väljaspool kasutusaega kasutusaste 0).
Valgustus	18 W/m ²
Seadmed	8 W/m ²
Inimesed	14 W/m ²
Pind mille alusel vabasoojused määratakse	hoone köetav pind

U-arvud:

Välissein	0,22 W/K*m ²
Katuslagi	0,17 W/K*m ²
Põrand pinnasel (Maapinna temperatuur on +7°C, 1 m pinnast põranda konstruktsiooni all).	0,15 W/K*m ²
Aken (kaalutud keskmine koos raamiga)	1,70 W/K*m ²

Hoone üldandmed:

Sisepindala	3503 m ²
Infiltratsioon	0,056 l/s, m ² (196 l/s)

Külmasillad:

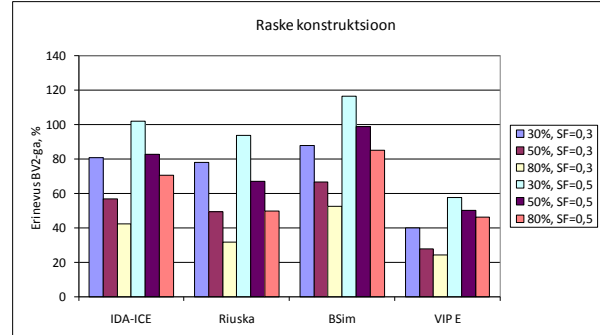
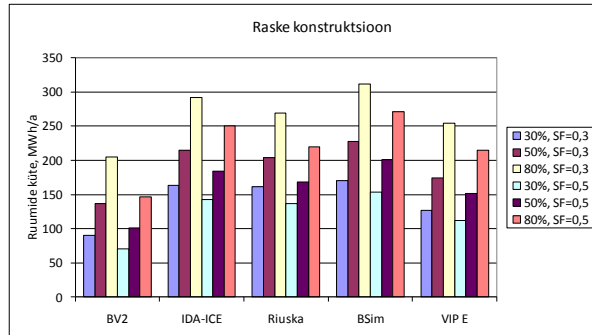
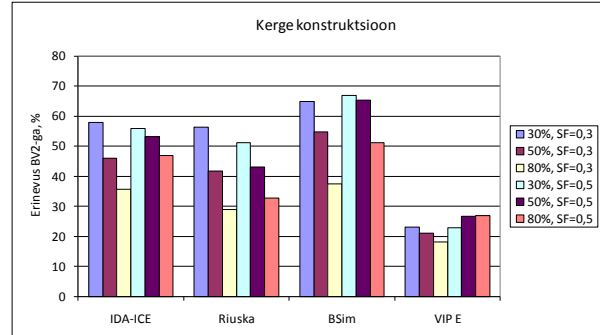
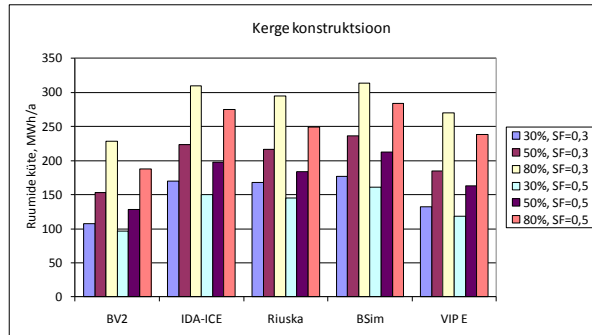
Välissein- põrand	0,09 W/K*m
Välissein- katuslagi	0,07 W/K*m
Akna perimeeter	0,07 W/K*m

3.4.2 Koolimaja arvutuste tulemused

Simulatsioonide tulemused on toodud alljärgnevas tabelis ja joonistel.

Tabel 24 Ruumiküte.

Absoluutväärtusena, MWh/a								Erinevus BV2-st, %							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E			Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	107	169	168	177	132	Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	0	58	56	65	23
		50	153	223	217	237	185			50	0	46	42	55	21
		80	228	309	294	313	269			80	0	36	29	37	18
	SF=0,5	30	96	150	146	161	118		SF=0,5	30	0	56	51	67	23
		50	129	197	184	213	163			50	0	53	43	65	27
		80	187	275	249	283	238			80	0	47	33	51	27
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	91	164	161	170	127	Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	0	81	78	88	40
		50	137	214	204	228	174			50	0	57	49	67	28
		80	205	291	269	312	254			80	0	42	32	52	24
	SF=0,5	30	71	143	137	153	112		SF=0,5	30	0	102	94	116	58
		50	101	184	169	201	152			50	0	83	67	99	50
		80	147	250	219	271	215			80	0	71	50	85	46

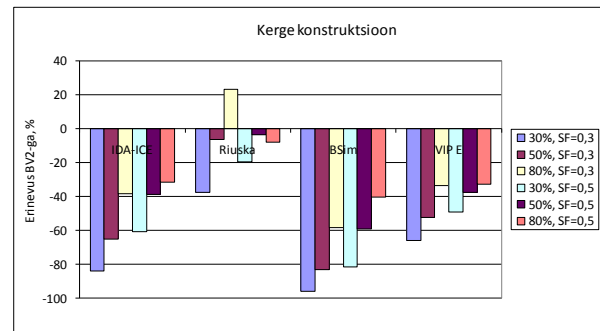
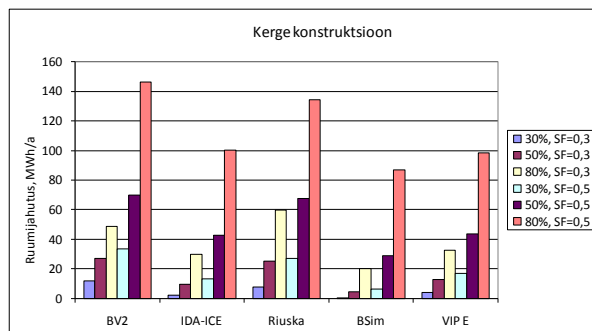


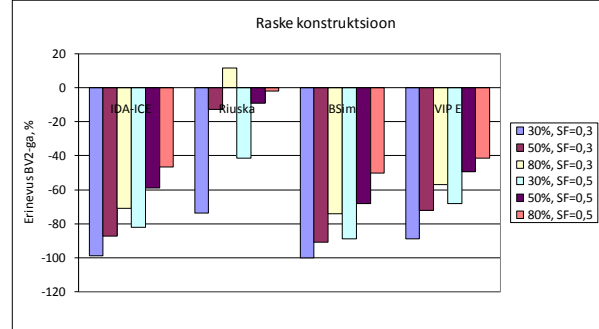
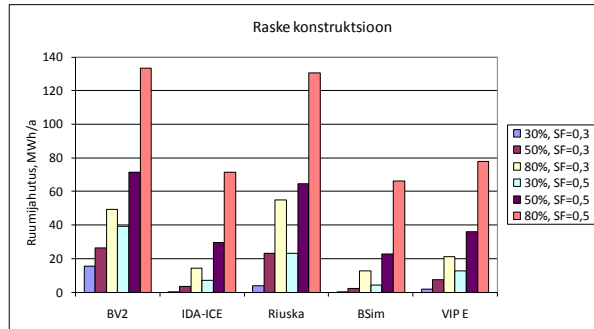
Joonis 22 Ruumiküte.

Tabel 25 Ruumijahutus.

		Absoluutväärtusena, MWh/a					
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riiska	BSIm	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	12	2	7	1	4
		50	27	9	25	5	13
		80	49	30	60	20	32
	SF=0,5	30	33	13	27	6	17
		50	70	43	67	29	44
		80	146	100	135	87	98
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	15	0	4	0	2
		50	26	3	23	2	7
		80	49	14	55	13	21
	SF=0,5	30	39	7	23	4	13
		50	71	29	65	23	36
		80	133	71	131	66	78

		Erinevus BV2-st, %					
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riiska	BSIm	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	0	-84	-38	-96	-66
		50	0	-65	-6	-83	-52
		80	0	-39	23	-58	-33
	SF=0,5	30	0	-61	-20	-81	-49
		50	0	-39	-4	-59	-38
		80	0	-32	-8	-41	-33
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	0	-99	-74	-100	-89
		50	0	-87	-13	-91	-72
		80	0	-71	11	-74	-57
	SF=0,5	30	0	-82	-42	-89	-68
		50	0	-59	-9	-68	-50
		80	0	-47	-2	-50	-42



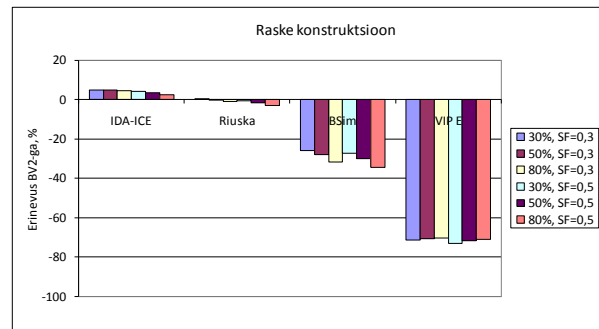
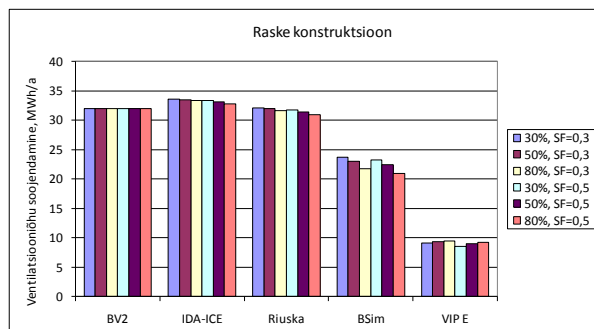
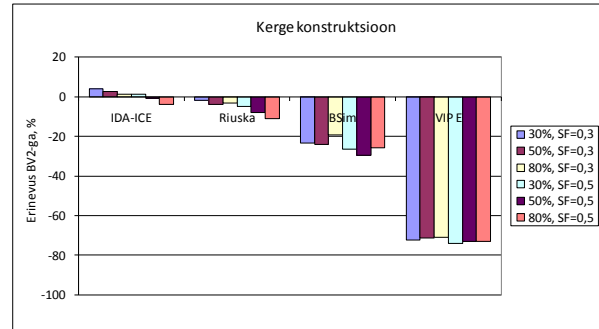
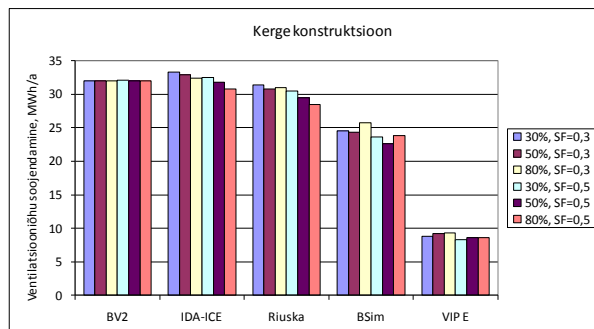


Joonis 23 Ruumijahutus.

Tabel 26 Ventilatsiooniõhu soojendamine.

		Absoluutväärtusena, MWh/a						
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riiska	BSIm	VIP E	
Kerge konstruksioon	SF=0,3	30	32	33	31	25	9	
		50	32	33	31	24	9	
		80	32	32	31	26	9	
	SF=0,5	30	32	33	30	24	8	
		50	32	32	30	23	9	
		80	32	31	29	24	9	
Raske konstruksioon	SF=0,3	30	32	34	32	24	9	
		50	32	34	32	23	9	
		80	32	33	32	22	10	
	SF=0,5	30	32	33	32	23	9	
		50	32	33	31	22	9	
		80	32	33	31	21	9	

		Erinevus BV2-st, %						
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riiska	BSIm	VIP E	
Kerge konstruksioon	SF=0,3	30	0	4	-2	-23	-73	
		50	0	3	-4	-24	-71	
		80	0	1	-3	-19	-71	
	SF=0,5	30	0	1	-5	-26	-74	
		50	0	-1	-8	-29	-73	
		80	0	-4	-11	-26	-73	
Raske konstruksioon	SF=0,3	30	0	5	0	-26	-72	
		50	0	5	0	-28	-71	
		80	0	4	-1	-32	-70	
	SF=0,5	30	0	4	-1	-27	-73	
		50	0	3	-2	-30	-72	
		80	0	2	-3	-34	-71	

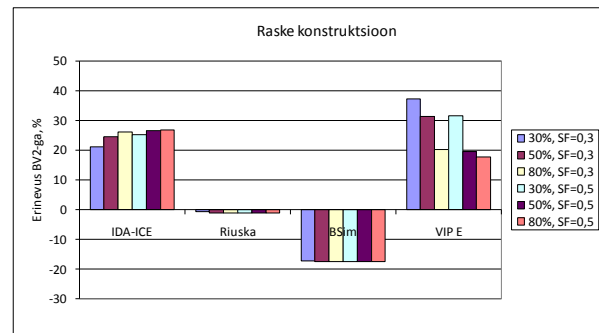
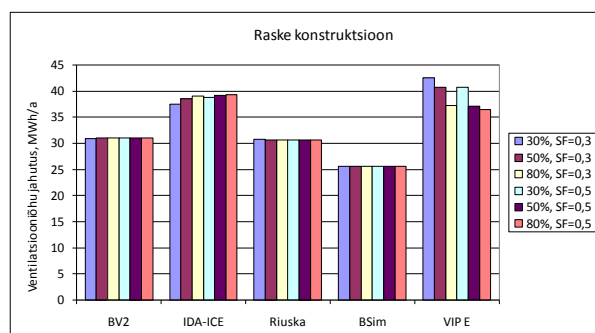
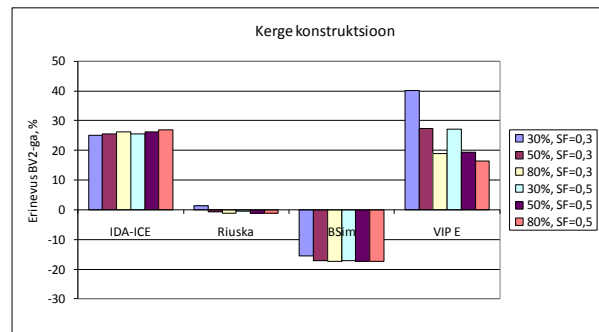
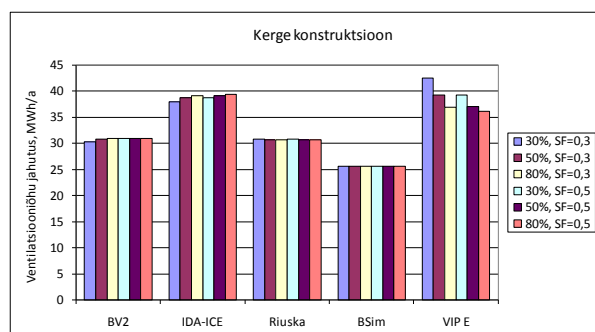


Joonis 24 Ventilatsiooniõhu soojendamine.

Tabel 27 Ventilatsiooniõhu jahutus

Absoluutväärtusena, MWh/a							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	30	38	31	26	43
		50	31	39	31	26	39
		80	31	39	31	26	37
	SF=0,5	30	31	39	31	26	39
		50	31	39	31	26	37
		80	31	39	31	26	36
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	31	38	31	26	43
		50	31	39	31	26	41
		80	31	39	31	26	37
	SF=0,5	30	31	39	31	26	41
		50	31	39	31	26	37
		80	31	39	31	26	37

Erinevus BV2-st, %							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	0	25	1	-16	40
		50	0	26	-1	-17	27
		80	0	26	-1	-17	19
	SF=0,5	30	0	26	0	-17	27
		50	0	26	-1	-17	19
		80	0	27	-1	-17	16
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	0	21	-1	-17	37
		50	0	25	-1	-17	31
		80	0	26	-1	-17	20
	SF=0,5	30	0	25	-1	-17	32
		50	0	27	-1	-17	20
		80	0	27	-1	-17	18

**Joonis 25 Ventilatsiooniõhu jahutus.**

Koolimaja simulatsioonide tulemuste põhjal võib teha järeldada, et:

- Ruumide küte:
 - Eriprogrammide tulemused kõiguvad BV2 suhtes väga suurtes piirides, kuni 21-116%. Kui siit välja arvata kõige madalam VIP Energy, siis jäävad tulemused 36-116% suuremaks kui BV2-ga;
 - BV2 näitaja on ülekaalukalt kõige väiksem. Vahe järgmise programmiga (VIP Energy) on üle 1/5.
- Ruumide jahutus:
 - BV2 jahutusenergia on uuritud programmidest kõige suurem. Eriti paistab see silma väiksema klaasfassaadi osakaalu juures, kus erinevus on kuni kümnetes

kordades. Samas tuleb tähele panna, et absoluutväärtusena on jahutusenergia 30% akende osakaalu puhul suhteliselt tühine, jäädes $0,5 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}^2$ juurde.

- Ventilatsiooniõhu soojendamine:
 - BV2 tulemused klapiivad hästi IDA-ICE ja Riiska tulemustega, erinedes ainult ühel juhul üle 10%;
 - Bsim tulemused on eelnevast kolmest üle kolmandiku võrra väiksemad, mis on tingitud sellest, et antud programmi ei ole võimalik ette anda soojustagastist väljuva õhu temperatuuri (külmakaitse temperatuuri);
 - VIP Energy tulemused on kuni 2,5 korda väiksemad võrreldes BV2-ga.
- Ventilatsiooniõhu jahutus:
 - BV2 tulemused klapiivad jällegi Riiska tulemustega, jäädes $\pm 1\%$ piiridesse;
 - IDA-ICE tulemused on eelnevatest neljandiku võrra suuremad, mis on tingitud sellest, et programmid arvestavad erinevalt varjatud soojuse kondenseerumist;
 - Bsim tulemused on 18-21% väiksemad kui BV2 tulemused;
 - VIP Energy tulemused on väga varieeruvad, olles BV2 tulemustest suuremad 18-40%. Kuna etteantud õhuhulgad ja ruumi temperatuurid on muutumatud, siis on antud kõikumisele raske seletust leida.

Kuna ventilatsiooniõhu soojendamiseks ja jahutamiseks kulunud energiad on väga varieeruvad, teostati käesoleva töö raames ka suuruste kohta põhjalikum analüüs. Selle tulemused on toodud osas 3.12 Ventilatsiooni analüüs.

Alljärgnevalt on uuritud hoone konstruktsiooni, akende päiksekaitse ning akende suuruse mõju ruumiküttele ja jahutusele.

Tabel 28 Ruumikütte sõltuvus hoone massiivsusest. Vasakul SF=0,3 paremal SF=0,5.

		BV2	IDA-ICE	Riiska	Bsim	VIP E			BV2	IDA-ICE	Riiska	Bsim	VIP E
Aken 30%	kerge	107	169	168	177	132	Aken 30%	kerge	96	150	146	161	118
	raske	91	164	161	170	127		raske	71	143	137	153	112
	kerge-raske	17	6	7	7	5		kerge-raske	26	7	8	8	7
	kerge/raske	1,18	1,03	1,04	1,04	1,04		kerge/raske	1,36	1,05	1,06	1,05	1,06
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,87	0,88	0,88	0,88		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,77	0,78	0,77	0,78
Aken 50%	kerge	153	223	217	237	185	Aken 50%	kerge	129	197	184	213	163
	raske	137	214	204	228	174		raske	101	184	169	201	152
	kerge-raske	16	9	13	9	11		kerge-raske	28	13	15	12	11
	kerge/raske	1,12	1,04	1,06	1,04	1,06		kerge/raske	1,27	1,07	1,09	1,06	1,07
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,93	0,95	0,93	0,95		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,84	0,86	0,83	0,84
Aken 80%	kerge	228	309	294	313	269	Aken 80%	kerge	187	275	249	283	238
	raske	205	291	269	312	254		raske	147	250	219	271	215
	kerge-raske	23	18	25	2	15		kerge-raske	41	25	29	12	23
	kerge/raske	1,11	1,06	1,09	1,00	1,06		kerge/raske	1,28	1,10	1,13	1,04	1,11
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,95	0,98	0,90	0,95		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,86	0,89	0,82	0,87

Hoone massiivsuse mõju kütteenergiale:

- Kõige rohkem mõjutab hoone massiivsus kütteenergiat BV2 programmiga arvutamisel, kuni 36%. Teiste programmide puhul antud näitaja jääb üldjoontes alla 10%;
- BV2 puhul on märgata, et mida suuremaks läheb klaasfassaadi osakaal välispiirdest, seda vähem mõjutab hoone massiivsus ruumide kütteenergiat. Samas ülejäänud programmide puhul on see vastupidi;

- BV2 programmi puhul tuleb välja tuua ka see, et massiivsuse mõju on tunduvalt suurem $SF=0,5$ korral kui $SF=0,3$ juhul. Teistel programmidel ei ole antud vahe nii suur. Sellest võib järeldada, et päikese vabasoojuse osakaal kogu vabasoojusest on BV2 puhul oluliselt suurem kui võrdlusprogrammidel.

Tabel 29 Ruumikütte sõltuvus klaaside päiksetegurist. Vasakul kerge- ja paremal raske konstruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E			BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	0,3	107	169	168	177	132	Aken 30%	0,3	91	164	161	170	127
	0,5	96	150	146	161	118		0,5	71	143	137	153	112
	0,3-0,5	11	19	22	16	14		0,3-0,5	20	21	24	17	16
	0,3/0,5	1,11	1,13	1,15	1,10	1,12		0,3/0,5	1,28	1,15	1,18	1,11	1,14
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,01	1,03	0,99	1,00		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,89	0,92	0,87	0,89
	0,3	153	223	217	237	185	Aken 50%	0,3	137	214	204	228	174
Aken 50%	0,5	129	197	184	213	163		0,5	101	184	169	201	152
	0,3-0,5	24	26	33	24	22		0,3-0,5	36	30	35	27	23
	0,3/0,5	1,19	1,13	1,18	1,11	1,13		0,3/0,5	1,35	1,16	1,21	1,14	1,15
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,95	0,99	0,94	0,96		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,86	0,89	0,84	0,85
	0,3	228	309	294	313	269	Aken 80%	0,3	205	291	269	312	254
Aken 80%	0,5	187	275	249	283	238		0,5	147	250	219	271	215
	0,3-0,5	41	34	45	30	32		0,3-0,5	58	41	50	41	40
	0,3/0,5	1,22	1,12	1,18	1,11	1,13		0,3/0,5	1,40	1,17	1,23	1,15	1,18
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,92	0,97	0,91	0,93		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,83	0,88	0,82	0,85

Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide kütteenergiale:

- Klaasfassaadide päikseteguri muutuse mõju kütteenergiale on enamasti kõige suurem BV2 puhul (va. kergkonstruktsiooni ja 30% akendega hoone puhul);
- BV2 puhul on selgesti näha, et mida suuremaks läheb klaasfassaadi pind välispiirdes, seda suuremaks läheb klaaside päikseteguri mõju kütteenergiale. Võrdlusprogrammidel jääb see ligikaudu samaks või suureneb minimaalselt. Sellest saab jällegi järeldada, et BV2 puhul on päikseenergia suurema mõjuga kui teistel programmidel;
- Proportsionaalselt kõige paremini klapiivad omavahel IDA-ICE ja VIP Energy tulemused, erinedes proportsionaalselt maksimaalselt 4%.

Tabel 30 Ruumikütte sõltuvus klaaside osakaalust. Vasakul kerge- ja paremal raske konstruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E			BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	107	169	168	177	132	SF=0,3	30%	91	164	161	170	127
	80%	228	309	294	313	269		80%	205	291	269	312	254
	80%-30%	121	140	126	136	137		80%-30%	114	128	108	142	127
	80%/30%	2,12	1,83	1,75	1,77	2,04		80%/30%	2,26	1,78	1,67	1,83	2,00
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,86	0,82	0,83	0,96		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,79	0,74	0,81	0,89
	30%	96	150	146	161	118	SF=0,5	30%	71	143	137	153	112
SF=0,5	80%	187	275	249	283	238		80%	147	250	219	271	215
	80%-30%	91	125	103	123	120		80%-30%	76	107	82	118	103
	80%/30%	1,95	1,83	1,71	1,76	2,01		80%/30%	2,07	1,75	1,60	1,77	1,92
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,94	0,88	0,91	1,03		muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,84	0,77	0,85	0,93

Välisfassaadi klaaspindade osakaalu mõju ruumide kütteenergiale:

- Klaasfassaadide osakaal mõjutab ruumide kütteenergiat proportsionaalselt kõige enam BV2-ga arvutamisel;
- Absoluutväärtuselt aga on BV2 mõju väiksem;
- Proportsionaalse muutuse suhtes sarnanevad BV2 tulemused kõige rohkem VIP Energy omadega. Samas on erinevus IDA-ICE, Riiska ja Bsim programmidega suur. Antud tulemuse põhjuseks on jällegi BV2 puhul suurem päikese energia arvesse võtmine.

Tabel 31 Ruumi jahutusenergia sõltuvus hoone massiivsusest. Vasakul SF=0,3 paremal SF=0,5.

		BV2	IDA-ICE	Riiska	Bsim	VIP E
Aken 30%	kerge	12	2	7	1	4
	raske	15	0	4	0	2
	kerge-raske	-3	2	3	0	2
	kerge/raske	0,78	0,75	1,85	50,00	2,41
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	12,49	2,37	64,03	3,09
Aken 50%	kerge	27	9	25	5	13
	raske	26	3	23	2	7
	kerge-raske	1	6	2	2	6
	kerge/raske	1,02	2,76	1,10	1,88	1,75
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	2,71	1,07	1,84	1,72
Aken 80%	kerge	49	30	60	20	32
	raske	49	14	55	13	21
	kerge-raske	-1	16	5	8	11
	kerge/raske	0,99	2,08	1,09	1,60	1,53
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	2,11	1,11	1,62	1,55

		BV2	IDA-ICE	Riiska	Bsim	VIP E
Aken 30%	kerge	33	13	27	6	17
	raske	39	7	23	4	13
	kerge-raske	-6	6	4	2	5
	kerge/raske	0,85	1,87	1,17	1,41	1,36
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	2,19	1,37	1,66	1,60
Aken 50%	kerge	70	43	67	29	44
	raske	71	29	65	23	36
	kerge-raske	-1	13	3	6	8
	kerge/raske	0,98	1,45	1,04	1,26	1,21
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,48	1,06	1,28	1,24
Aken 80%	kerge	146	100	135	87	98
	raske	133	71	131	66	78
	kerge-raske	13	29	4	21	20
	kerge/raske	1,10	1,40	1,03	1,31	1,26
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,28	0,94	1,20	1,15

Hoone massiivsuse mõju ruumide jahutusenergiale:

- BV2 tulemustes on hoone massiivsuse mõju ruumide jahutamisele kõige väiksem, kohati isegi negatiivne. Kui kõikides teistes programmides on märgata, et raskema hoone korral on jahutusenergia oluliselt vähenenud, siis BV2 puhul seda ei saa täheldada. Suurimat mõju avaldab hoone massiivsus jahutusenergiale IDA-ICE programmiga arvutades.

Tabel 32 Ruumi jahutusenergia sõltuvus klaaside päiksetegurist. Vasakul kerge- ja paremal raske kontsruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riiska	Bsim	VIP E
Aken 30%	0,3	12	2	7	1	4
	0,5	33	13	27	6	17
	0,3-0,5	-21	-11	-19	-6	-13
	0,3/0,5	0,36	0,15	0,28	0,08	0,24
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,41	0,78	0,22	0,67
Aken 50%	0,3	27	9	25	5	13
	0,5	70	43	67	29	44
	0,3-0,5	-43	-33	-42	-24	-31
	0,3/0,5	0,38	0,22	0,37	0,16	0,29
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,57	0,97	0,41	0,76
Aken 80%	0,3	49	30	60	20	32
	0,5	146	100	135	87	98
	0,3-0,5	-98	-70	-75	-67	-66
	0,3/0,5	0,33	0,30	0,45	0,23	0,33
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,90	1,34	0,70	0,99

		BV2	IDA-ICE	Riiska	Bsim	VIP E
Aken 30%	0,3	15	0	4	0	2
	0,5	39	7	23	4	13
	0,3-0,5	-24	-7	-19	-4	-11
	0,3/0,5	0,39	0,03	0,18	0,00	0,14
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,07	0,45	0,01	0,35
Aken 50%	0,3	26	3	23	2	7
	0,5	71	29	65	23	36
	0,3-0,5	-45	-26	-42	-20	-29
	0,3/0,5	0,37	0,12	0,35	0,11	0,20
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,31	0,96	0,29	0,55
Aken 80%	0,3	49	14	55	13	21
	0,5	133	71	131	66	78
	0,3-0,5	-84	-57	-76	-54	-57
	0,3/0,5	0,37	0,20	0,42	0,19	0,27
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,54	1,14	0,52	0,73

Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide jahutusenergiale:

- Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide absoluutsele jahutusenergiale (kWh/a) on kõige suurem BV2 programmi puhul;
- Proportsionaalselt on BV2 puhul päiksetegurite mõju aastasele jahutusenergiale kõige väiksem. Sellest järeldub, et BV2 hindab hoone jahutuskooormust oluliselt suuremaks võrdlusprogrammide omast;
- Kõige rohkem sarnanevad tulemused BV2 ja VIP Energy vahel.

Tabel 33 Ruumi jahutusenergia sõltuvus klaaside osakaalust. Vasakul kerge- ja paremal raske konstruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	12	2	7	1	4
	80%	49	30	60	20	32
	80%-30%	37	28	53	20	28
	80%/30%	4,06	15,33	8,03	40,60	7,90
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	3,78	1,98	10,01	1,95
SF=0,5	30%	33	13	27	6	17
	80%	146	100	135	87	98
	80%-30%	113	87	108	81	81
	80%/30%	4,38	7,61	5,01	14,03	5,78
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,74	1,15	3,21	1,32

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	15	0	4	0	2
	80%	49	14	55	13	21
	80%-30%	34	14	51	13	20
	80%/30%	3,21	71,75	13,63	1270,00	12,47
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	22,35	4,24	395,59	3,88
SF=0,5	30%	39	7	23	4	13
	80%	133	71	131	66	78
	80%-30%	94	64	108	62	66
	80%/30%	3,39	10,11	5,69	15,07	6,24
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	2,98	1,68	4,45	1,84

Klaasfassaadide osakaalu mõju ruumide jahutusenergiale:

- Klaasfassaadide mõju varieerus erinevate programmide korral väga suurtes piirides. Jahutusenergia absoluutväärtuse kasv erines programmide vahel kohati üle kahe korra.

3.4.3 Järeldused koolimaja arvutuse kohta

1. BV2 arvestab liiga palju päikseenergiat. Seda on ilmekalt näha akende päikseteguri muutusest tingitud olulisest küttekulu vähenemisest võrreldes teiste programmidega (küttekulu väheneb kuni kaks korda).
2. BV2 võtab võrreldes teiste programmidega ka oluliselt rohkem arvesse hoone massiivsuse mõju. Ruumide kütte puhul on kerge ja raske konstruktsiooniga hoone erinevus kuni 36%.
3. BV2 tulemustes on hoone massiivsuse mõju ruumide jahutamisele kõige väiksem, kohati isegi negatiivne. Kui kõikides teistes programmides on märgata, et raskema hoone korral on jahutusenergia oluliselt vähenenud, siis BV2 puhul seda ei saa täheldada.
4. Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide absoluutsele jahutusenergiale (kWh/a) on kõige suurem BV2 programmi puhul. Proportsionaalselt on aga BV2 puhul päiksetegurite mõju aastasele jahutusenergiale kõige väiksem. Sellest järeldub, et BV2 hindab hoone jahutuskooormust oluliselt suuremaks võrdlusprogrammide omast.

3.5 Hotell

Järgnevalt on teostatud hotelli analüüs. Esmalt on esitatud lähteandmed, edasi tulemused ja järeldused.

3.5.1 Hotelli lähteandmed

Järgnevalt on kirjeldatud hotelli arvutustes kasutatud lähteandmeid. Arvutuste aluseks on võetud viiekordne hoone orientatsiooniga põhja-lõuna suunal (suurem fassaad ida ja lääne suunal).

Simulatsioonid teostati järgmiste tarkvaradega:

- BV2 3 (arvutuse teostas 3 eri inimest);
- IDA 2 eri inimest;
- Riuska 3 eri inimest;
- VIP+ 2 eri inimest;
- BSim 1 inimene.

Lisaks on iga arvutus teostatud kolme variandina:

- Klaasfassaadi osakaal fassadist 30% (akna raami osakaal 10%);
- Klaasfassaadi osakaal fassadist 50% (akna raami osakaal 10%);
- Klaasfassaadi osakaal fassadist 80% (akna raami osakaal 10%);

Kahe alternatiivse aknaklaasi päikeseläbivus teguri g väärtustega:

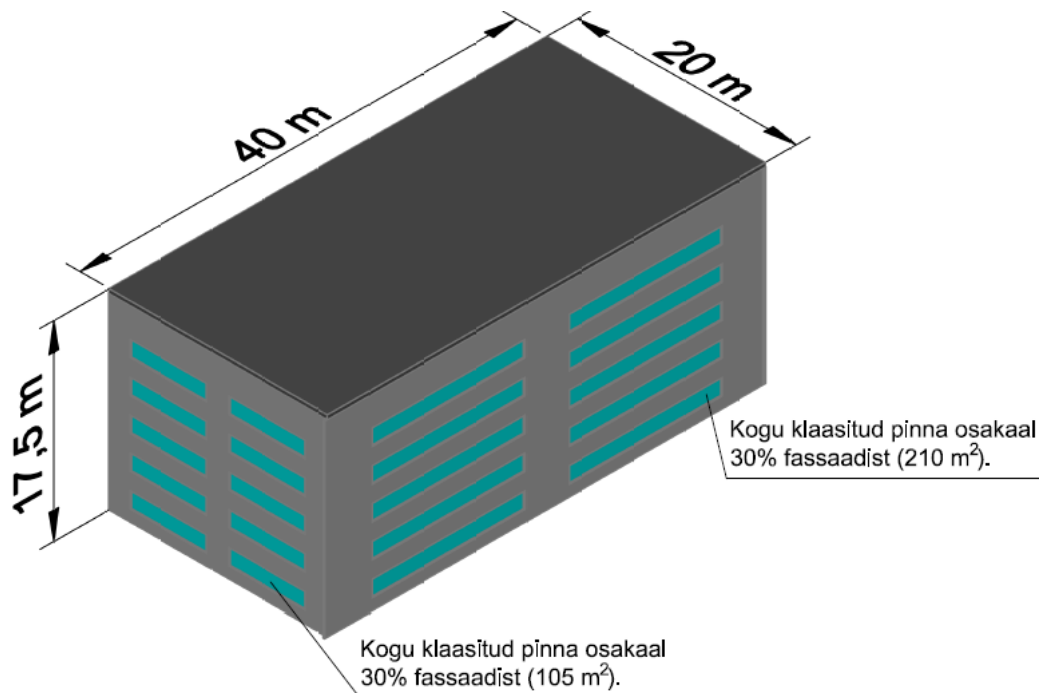
- Klaasi päikeseläbivus tegur $g = 0,30$;
- Klaasi päikeseläbivus tegur $g = 0,50$.

Ja kahe alternatiivse konstruktsiooniga ehitisega:

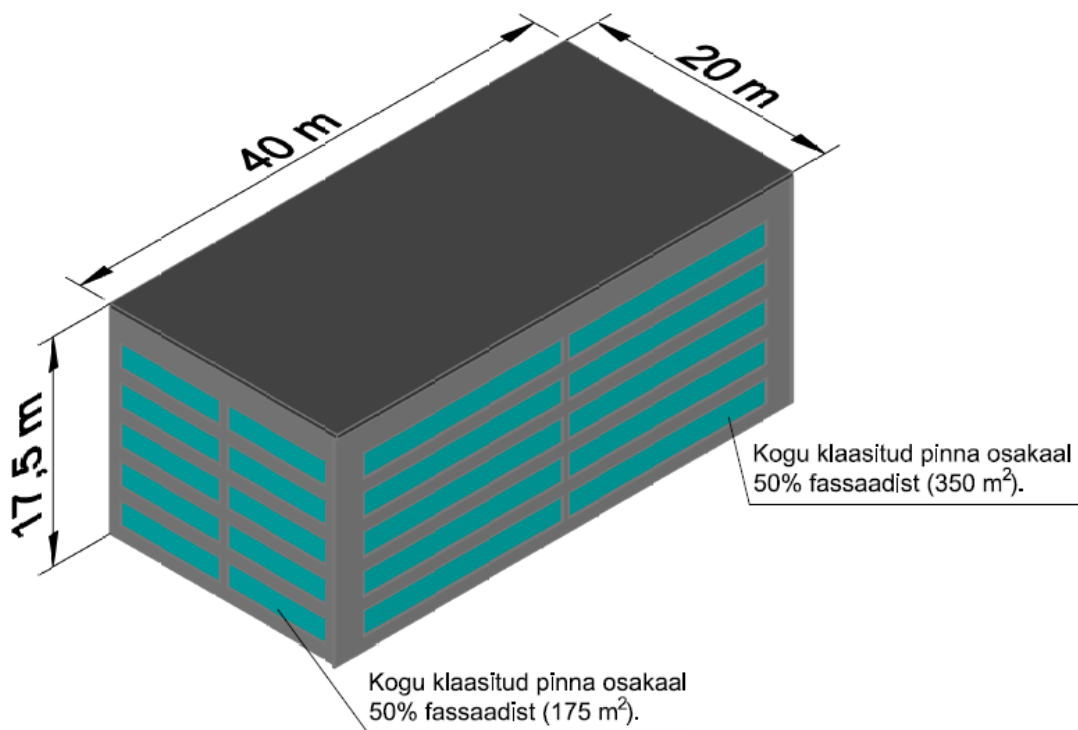
- Kergkonstruktsioonist ehitisena;
- Raskekonstruktsioonist ehitisena.

Hoone energiaarvutused on teostatud vastavalt 1 tsooni mudelina programmidele BV2 ja VIP+ (arvestades vahesinte ja -lagedega) ning 20 tsooni mudelina programmidele IDAice, Riuska ja Bsim.

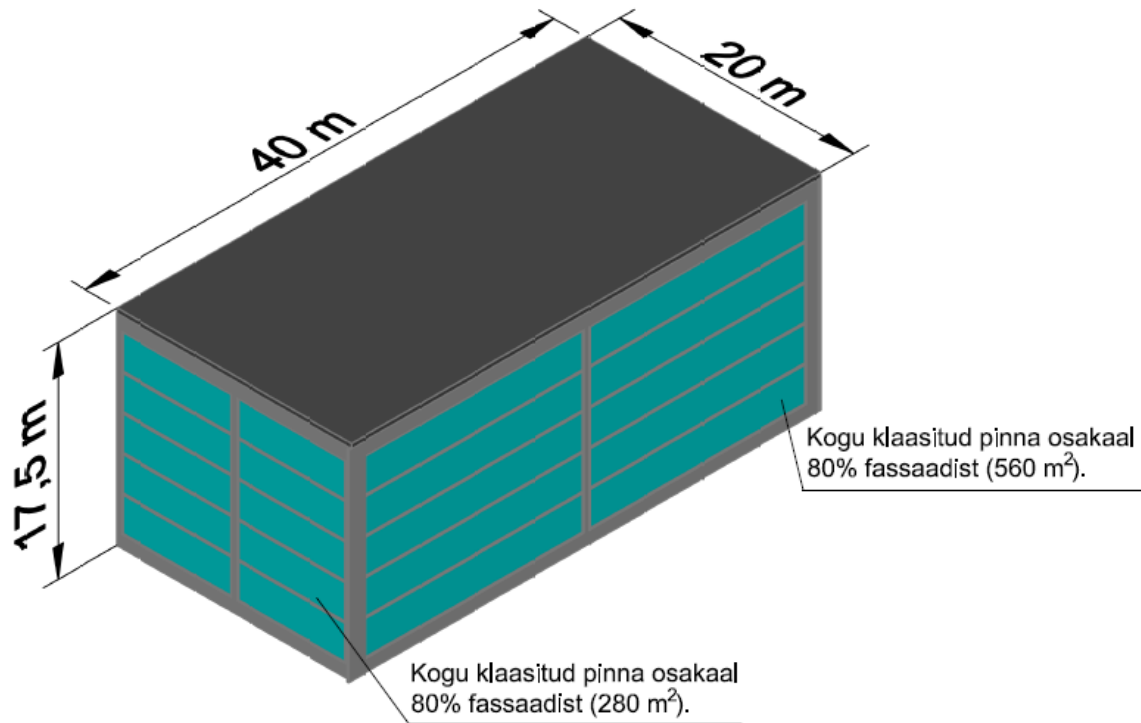
Järgnevalt on esitatud illustreeriv joonis arvutustes kasutatud hotelli kohta.



Joonis 26 Hotell, akna osakaal 30% fassaadist.



Joonis 27 Hotell, akna osakaal 50% fassaadist.



Joonis 28 Hotell, akna osakaal 80% fassaadist.

Järgnevalt on esitatud täpsed lähteandmed arvutustes kasutatud hotelli kohta.

Tabel 34 Hotelli arvutuste lähteandmed.

Hoone temperatuurid:

Madalaim lubatud ruumiõhu temperatuur	21 °C
Kõrgeim lubatud ruumiõhu temperatuur	25 °C

Ventilatsioon:

Sissepuhkeõhu temperatuur	18°C
Ventilatsiooni soojustagasti temperatuuri suhtarv	80%
Ventilatsiooni tööaeg	Ventilatsioon töötab 24 h ja 7 päeva nädalas
Ventilatsiooni õhuvooluhulgad	1,5 l/s*m ² (5255 l/s)

Vabasoojused (arvutustes on kasutatud keskmise vabasoojuse kasutusastet).

Kasutusaeg	00:00-00:00; 7 päeva nädalas
Keskmine kasutusaste	0,5
Valgustus	14 W/m ²
Seadmed	7 W/m ²
Inimesed	4 W/m ²
Pind mille alusel vabasoojused määratakse	hoone köetav pind

U-arvud:

Välissein	0,22 W/K*m ²
Katuslagi	0,17 W/K*m ²
Põrand pinnasel (Maapinna temperatuur on +7°C, 1 m pinnast põranda konstruktsiooni all).	0,15 W/K*m ²
Aken (kaalutud keskmine koos raamiga)	1,70 W/K*m ²

Hoone üldandmed:

Sisepindala	3503 m ²
Infiltratsioon	0,056 l/s, m ² (196 l/s)

Külmasillad:

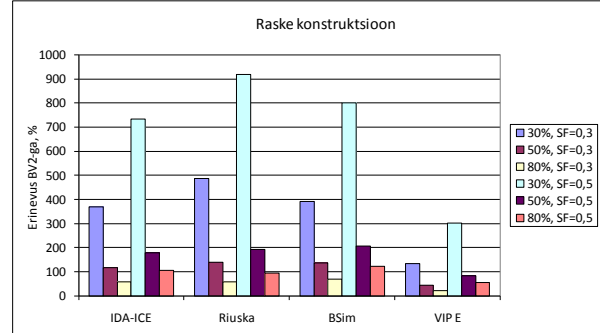
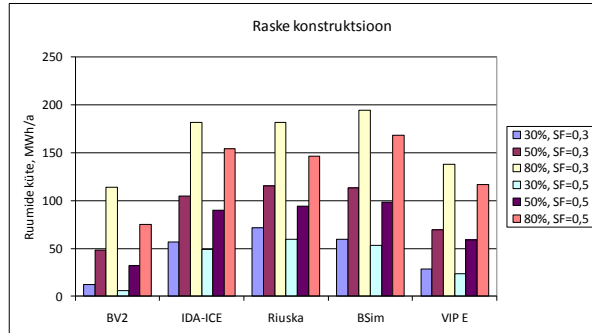
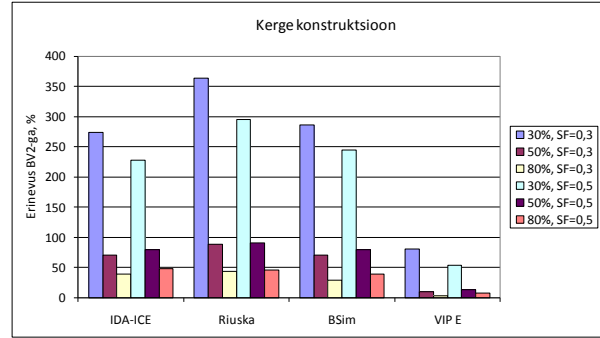
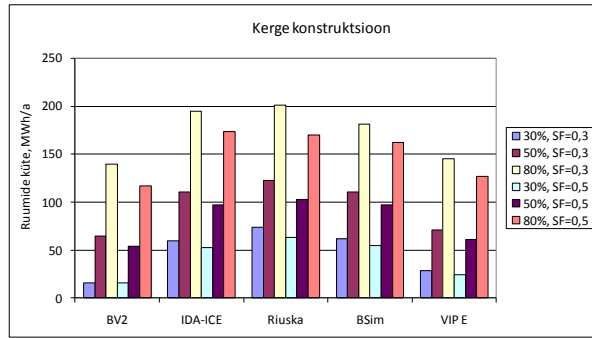
Välissein- põrand	0,09 W/K*m
Välissein- katuslagi	0,07 W/K*m
Akna perimeeter	0,07 W/K*m

3.5.2 Hotelli arvutuste tulemused:

Arvutustulemused on toodud alljärgnevas tabelites ja joonistel.

Tabel 35 Ruumiküte.

Absoluutväärtusena, MWh/a								Erinevus BV2-st, %							
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E	Kerge konstruktsioon	SF=0,3	Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
		30	16	60	74	62	29			30	0	274	364	286	81
		50	65	111	122	111	71			50	0	71	89	71	10
		80	140	195	201	181	145			80	0	39	44	30	4
		30	16	53	63	55	25			30	0	228	295	244	54
		50	54	97	103	97	61			50	0	80	91	80	14
Raske konstruktsioon	SF=0,5	80	117	173	170	163	127	80	0	48	46	39	8		
		30	12	57	72	60	28	30	0	368	488	391	133		
		50	48	105	115	113	69	50	0	118	140	136	44		
		80	114	182	182	194	138	80	0	59	59	70	21		
		30	6	49	60	53	24	30	0	734	918	802	302		
		50	32	90	94	99	59	50	0	180	194	208	83		
		80	75	155	146	168	117	80	0	106	95	124	56		

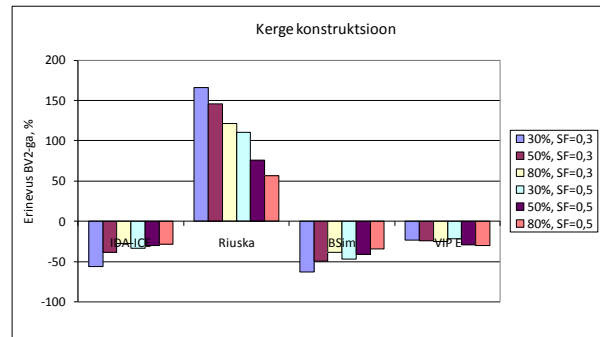
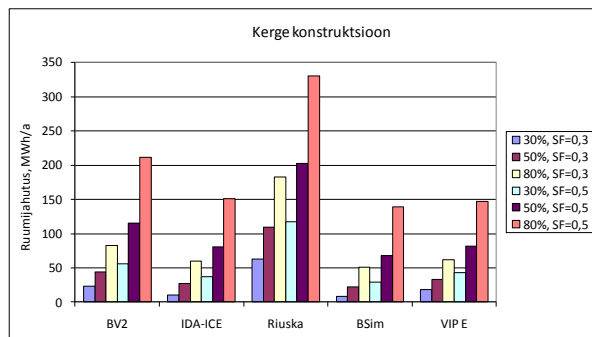


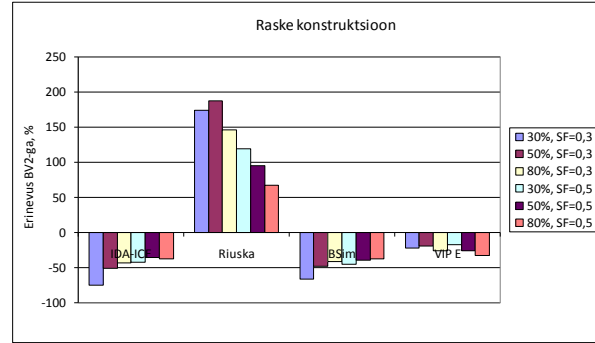
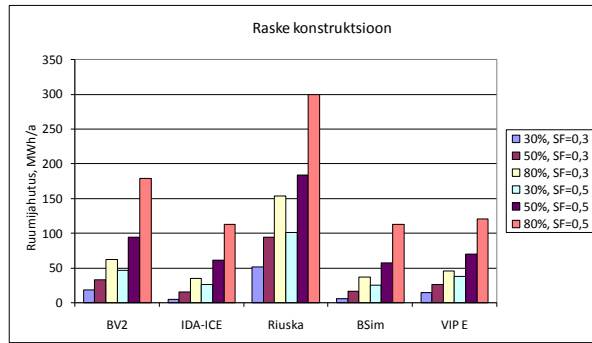
Joonis 29 Ruumiküte.

Tabel 36 Ruumijahutus.

		Absoluutväärtusena, MWh/a					
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSIm	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	24	10	63	9	18
		50	44	27	109	23	34
		80	83	60	183	51	62
	SF=0,5	30	55	37	117	30	43
		50	115	81	203	68	81
		80	211	151	331	139	148
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	19	5	52	6	15
		50	33	16	95	17	27
		80	62	35	154	37	46
	SF=0,5	30	46	27	101	25	38
		50	94	61	184	57	70
		80	179	112	300	112	120

		Erinevus BV2-st, %					
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSIm	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	0	-56	166	-63	-24
		50	0	-38	146	-49	-25
		80	0	-28	122	-38	-25
	SF=0,5	30	0	-33	111	-47	-22
		50	0	-30	76	-41	-30
		80	0	-28	56	-34	-30
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	0	-75	174	-67	-22
		50	0	-51	188	-49	-19
		80	0	-44	147	-41	-26
	SF=0,5	30	0	-42	119	-45	-17
		50	0	-35	95	-39	-26
		80	0	-37	67	-37	-33



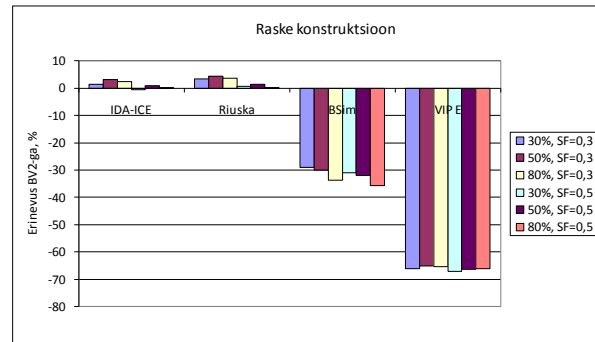
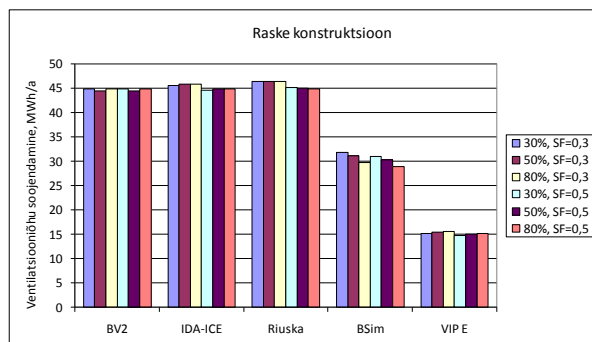
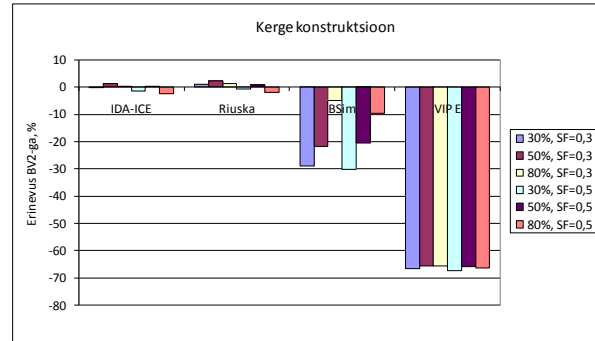
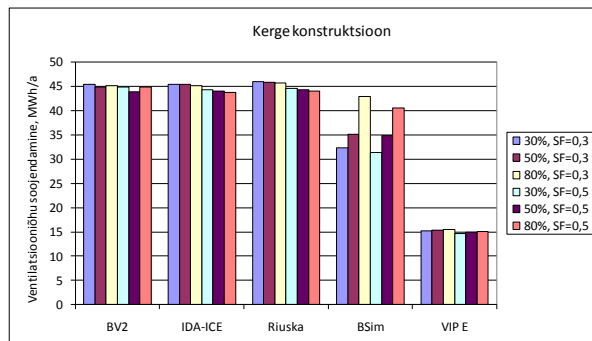


Joonis 30 Ruumijahutus.

Tabel 37 Ventilatsiooniõhu soojendamine.

		Absoluutväärtusena, MWh/a					
	Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riiska	BSIm	VIP E	
Kerge konstruksioon	SF=0,3	30	46	45	46	32	15
		50	45	45	46	35	15
		80	45	45	46	43	16
	SF=0,5	30	45	44	45	31	15
		50	44	44	44	35	15
		80	45	44	44	41	15
Raske konstruksioon	SF=0,3	30	45	46	46	32	15
		50	45	46	46	31	16
		80	45	46	46	30	16
	SF=0,5	30	45	45	45	31	15
		50	45	45	45	30	15
		80	45	45	45	29	15

		Erinevus BV2-st, %					
	Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riiska	BSIm	VIP E	
Kerge konstruksioon	SF=0,3	30	0	0	1	-29	-67
		50	0	1	2	-22	-66
		80	0	0	1	-5	-66
	SF=0,5	30	0	-1	-1	-30	-67
		50	0	0	1	-21	-66
		80	0	-2	-2	-10	-66
Raske konstruksioon	SF=0,3	30	0	1	3	-29	-66
		50	0	3	4	-30	-65
		80	0	2	4	-34	-65
	SF=0,5	30	0	-1	1	-31	-67
		50	0	1	1	-32	-66
		80	0	0	0	-36	-66

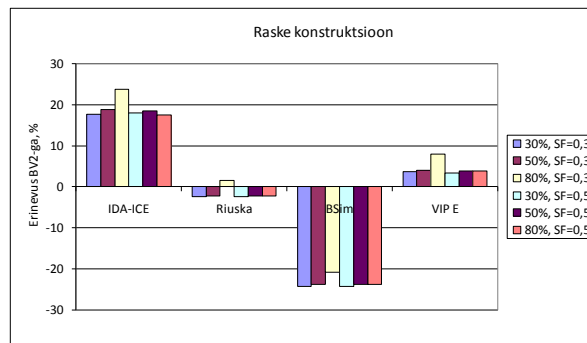
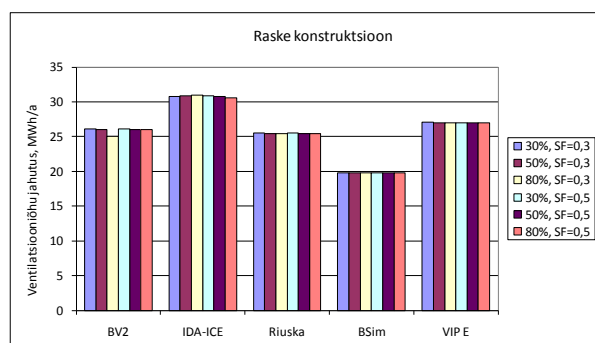
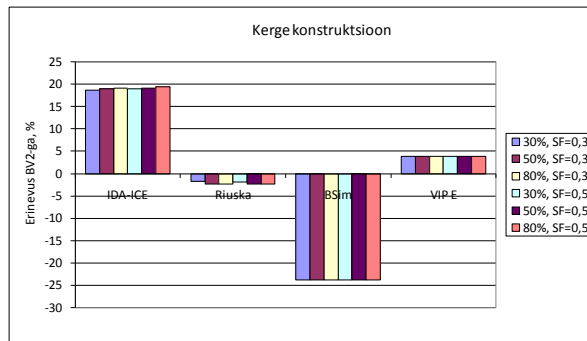
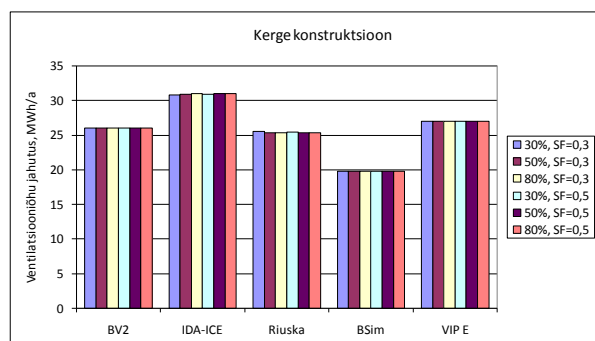


Joonis 31 Ventilatsiooniõhu soojendamine.

Tabel 38 Ventilatsiooniõhu jahutus.

Absoluutväärtusena, MWh/a							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	26	31	26	20	27
		50	26	31	25	20	27
		80	26	31	25	20	27
	SF=0,5	30	26	31	26	20	27
		50	26	31	25	20	27
		80	26	31	25	20	27
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	26	31	26	20	27
		50	26	31	25	20	27
		80	25	31	25	20	27
	SF=0,5	30	26	31	26	20	27
		50	26	31	25	20	27
		80	26	31	25	20	27

Erinevus BV2-st, %							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Kerge konstruktsioon	SF=0,3	30	0	19	-2	-24	4
		50	0	19	-2	-24	4
		80	0	19	-2	-24	4
	SF=0,5	30	0	19	-2	-24	4
		50	0	19	-2	-24	4
		80	0	19	-2	-24	4
Raske konstruktsioon	SF=0,3	30	0	18	-2	-24	4
		50	0	19	-2	-24	4
		80	0	24	2	-21	8
	SF=0,5	30	0	18	-2	-24	3
		50	0	18	-2	-24	4
		80	0	18	-2	-24	4

**Joonis 32** Ventilatsiooniõhu jahutus.

Hotelli simulatsioonide tulemuste põhjal võib teha järeldada, et:

- Ruumide küte:
 - Eriprogrammide tulemused kõiguvad BV2 suhtes väga suurtes piirides, erinedes kuni 10 korda;
 - BV2 erinevus on eriti suur väiksmate aknapindade korral, kuna antud variandi puhul on hoone erisoojuskooormus kõige väiksem, siis mõjutab suur vabasoojuskooormus hoone kütteenergiat kõige rohkem;
 - Ilmselt arvestavad BV2 ja VIP Energy vabasoojusega rohkem kui võrdlusprogrammid.

- Ruumide jahutus:
 - BV2 jahutusenergia on oluliselt suurem IDA-ICE, BSim ja VIP Energy omast kuid rohkem kui poole väiksem Riuska omast;
 - Sarnaselt kütteenergiaga väheneb erinevus programmide vahel aknaklaaside osakaalu suurenemisega. Mida suurem on aknaklaasi osakaal välisfassaadist, seda väiksem on erinevus programmide jahutusenergiast.
- Ventilatsiooniõhu soojendamine:
 - BV2 tulemuse klapiavad vää hästi IDA-ICE ja Riuska tulemustega, erinedes alla 5%;
 - Bsim tulemused on väga kõikumavad ja eelpool mainitud programmide omast kuni kolmandiku võrra väiksem, mis on tingitud sellest, et antud programmi ei ole võimalik ette anda soojustagastist väljuva õhu temperatuuri (külmakaitse temperatuuri);
 - VIP Energy tulemused on kuni kolm korda väiksemad võrreldes BV2-ga.
- Ventilatsiooniõhu jahutus:
 - Ventilatsiooniõhu jahutuses klapiavad hästi tulemused BV2, Riuska ja VIP Energy vahel, erinedes ainult ühel juhul kuni 8%;
 - IDA-ICE tulemused on eelnevatest 20% suuremad, mis on tingitud sellest, et programmid arvestavad erinevalt varjatud soojuse kondenseerumist;
 - Bsim tulemused on umbes neljanidku võrra väiksemad võrdlusprogrammide omast.

Kuna ventilatsiooniõhu soojendamiseks ja jahutamiseks kulunud energiad on väga varieeruvad, teostati käesoleva töö raames ka suuruste kohta põhjalikum analüüs. Selle tulemused on toodud osas 3.12. Ventilatsiooni analüüs.

Alljärgnevalt on uuritud hoone konstruktsiooni, akende päiksekaitse ning akende suuruse mõju ruumiküttele ja jahutusele.

Tabel 39 Ruumikütte sõltuvus hoone massiivsusest. Vasakul SF=0,3 paremal SF=0,5.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	kerge	16	60	74	62	29
	raske	12	57	72	60	28
	kerge-raske	4	3	3	2	1
	kerge/raske	1,32	1,05	1,04	1,04	1,02
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,80	0,79	0,79	0,77
Aken 50%	kerge	65	111	122	111	71
	raske	48	105	115	113	69
	kerge-raske	17	6	7	-3	2
	kerge/raske	1,35	1,06	1,06	0,98	1,03
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,78	0,79	0,72	0,76
Aken 80%	kerge	140	195	201	181	145
	raske	114	182	182	194	138
	kerge-raske	26	13	19	-13	7
	kerge/raske	1,23	1,07	1,11	0,93	1,05
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,87	0,90	0,76	0,86

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	kerge	16	53	63	55	25
	raske	6	49	60	53	24
	kerge-raske	10	4	4	2	1
	kerge/raske	2,73	1,07	1,06	1,04	1,04
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,39	0,39	0,38	0,38
Aken 50%	kerge	54	97	103	97	61
	raske	32	90	94	99	59
	kerge-raske	22	8	9	-1	3
	kerge/raske	1,69	1,09	1,10	0,99	1,05
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,64	0,65	0,58	0,62
Aken 80%	kerge	117	173	170	163	127
	raske	75	155	146	168	117
	kerge-raske	42	19	24	-6	10
	kerge/raske	1,56	1,12	1,16	0,97	1,08
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,72	0,75	0,62	0,69

Hoone massiivsuse mõju kütteenergiale:

- Kõige rohkem mõjutab hoone massiivsus kütteenergiat BV2 programmiga arvutamisel, kus väikeste aknapindade korral on raske ja kerge konstruktsiooni erinevus on peaaegu kolm korda. Samas tuleb tähele panna, et absoluutväärtuses on antud suurus väga tühine jäädes alla 2 kWh/a*m²;
- BV2 puhul on märgata, et suurema päikse läbilaskvusega klaaside puhul ning raske konstruktsiooniga ei olekski praktiliselt hoonel küttekehasid tarvis. Hoonesse tuleva vabasoojuse arvelt oleks võimalik tagada nõutud sisetemperatuur enamus ajast aastast;
- BV2 ja BSim puhul on märgata, et mida suuremaks läheb klaasfassaadi osakaal seda väiksemaks läheb konstruktsioonide massiivsuse mõju. IDA-ICE, Riuskal ja VIP Energy puhul on see vastupidi;
- BV2 programmi puhul tuleb välja tuua ka see, et massiivsuse mõju on tunduvalt suurem SF=0,5 korral kui SF=0,3 juhul. Teistel programmidel ei ole antud vahe nii suur. Sellest võib järeldada, et päikese vabasoojuse osakaal kogu vabasoojusest on BV2 puhul oluliselt suurem kui võrdlusprogrammidel.

Tabel 40 Ruumikütte sõltuvus klaaside päiksetegurist. Vasakul kerge- ja paremal raske kotsruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	0,3	16	60	74	62	29
	0,5	16	53	63	55	25
	0,3-0,5	0	7	11	7	4
	0,3/0,5	1,00	1,14	1,17	1,12	1,17
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,14	1,17	1,12	1,17
Aken 50%	0,3	65	111	122	111	71
	0,5	54	97	103	97	61
	0,3-0,5	11	13	19	14	10
	0,3/0,5	1,20	1,14	1,19	1,14	1,16
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,95	0,99	0,95	0,97
Aken 80%	0,3	140	195	201	181	145
	0,5	117	173	170	163	127
	0,3-0,5	23	21	31	19	18
	0,3/0,5	1,20	1,12	1,18	1,12	1,15
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,94	0,99	0,93	0,96

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	0,3	12	57	72	60	28
	0,5	6	49	60	53	24
	0,3-0,5	6	8	12	7	5
	0,3/0,5	2,07	1,16	1,20	1,13	1,20
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,56	0,58	0,54	0,58
Aken 50%	0,3	48	105	115	113	69
	0,5	32	90	94	99	59
	0,3-0,5	16	15	21	15	10
	0,3/0,5	1,50	1,17	1,23	1,15	1,18
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,78	0,82	0,77	0,78
Aken 80%	0,3	114	182	182	194	138
	0,5	75	155	146	168	117
	0,3-0,5	39	27	35	26	21
	0,3/0,5	1,52	1,18	1,24	1,16	1,18
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,77	0,82	0,76	0,78

Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide kütteenergiale:

- Klaasfassaadide päikseteguri muutuse mõju kütteenergiale on enamasti kõige suurem BV2 puhul (va. kergkonstruktsiooni ja 30% akendega hoone puhul, kus vahet ei ole);
- BV2 puhul on selgesti nähe, et mida suuremaks läheb klaasfassaadi pind välispiirdes, seda suuremaks läheb klaaside päikseteguri mõju kütteenergiale. Võrdlusprogrammidel jääb see ligikaudu samaks või suureneb minimaalselt. Sellest saab jällegi järeldada, et BV2 puhul on päikseenergia suurema mõjuga kui teistel programmidel;
- Võrdlusprogrammide hulgas ei leidu ühtegi programmi, mis annaksid sarnaseid tulemusi BV2-ga või oleksid proportsionaalselt samas suurusjärgus. BV2 arvutusloogikast on antud tabeli põhjal väga keeruline asjalikke järeldusi teha.

Tabel 41 Ruumikütte sõltuvus klaaside osakaalust. Vasakul kerge- ja paremal raske kontsruksioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	16	60	74	62	29
	80%	140	195	201	181	145
	80%-30%	124	135	127	120	116
	80%/30%	8,75	3,25	2,71	2,93	5,02
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,37	0,31	0,34	0,57
SF=0,5	30%	16	53	63	55	25
	80%	117	173	170	163	127
	80%-30%	101	121	107	107	102
	80%/30%	7,31	3,30	2,69	2,95	5,15
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,45	0,37	0,40	0,70

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	12	57	72	60	28
	80%	114	182	182	194	138
	80%-30%	102	125	110	135	110
	80%/30%	9,37	3,19	2,54	3,25	4,86
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,34	0,27	0,35	0,52
SF=0,5	30%	6	49	60	53	24
	80%	75	155	146	168	117
	80%-30%	69	106	87	115	93
	80%/30%	12,78	3,16	2,45	3,18	4,95
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,25	0,19	0,25	0,39

Välisfassaadi klaaspindade osakaalu mõju ruumide kütteenergiALE:

- Klaasfassaadide osakaal mõjutab ruumide kütteenergiat proportsionaalselt kõige enam BV2-ga arvutamisel;
- Absoluutväärtuselt on BV2 erinevus aga kõige väiksem, mis on tingitud väiksematest kütteenergiatest;
- Proportsionaalse muutuse suhtes ei ole võimalik leida BV2-ga sarnaseid tulemusi mitte ühelgi juhul. Kõige lähedasem BV2 tulemustele on VIP Energy programmi tulemused, erinedes minimaalselt 30%. Antud tulemuste põhjuseks on BV2 suurem päikese energia arvesse võtmine.

Tabel 42 Ruumi jahutusenergia sõltuvus hoone massiivsusest. Vasakul SF=0,3 paremal SF=0,5.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	kerge	24	10	63	9	18
	raske	19	5	52	6	15
	kerge-raske	5	6	11	2	3
	kerge/raske	1,25	2,20	1,22	1,38	1,23
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,76	0,97	1,10	0,99
Aken 50%	kerge	44	27	109	23	34
	raske	33	16	95	17	27
	kerge-raske	12	11	15	6	7
	kerge/raske	1,35	1,72	1,16	1,34	1,26
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,27	0,86	0,99	0,93
Aken 80%	kerge	83	60	183	51	62
	raske	62	35	154	37	46
	kerge-raske	20	24	29	14	15
	kerge/raske	1,32	1,69	1,19	1,38	1,33
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,28	0,90	1,05	1,01

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	kerge	55	37	117	30	43
	raske	46	27	101	25	38
	kerge-raske	9	10	15	4	5
	kerge/raske	1,20	1,38	1,15	1,17	1,14
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,15	0,96	0,98	0,95
Aken 50%	kerge	115	81	203	68	81
	raske	94	61	184	57	70
	kerge-raske	21	20	19	11	12
	kerge/raske	1,22	1,33	1,10	1,19	1,17
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,08	0,90	0,98	0,95
Aken 80%	kerge	211	151	331	139	148
	raske	179	112	300	112	120
	kerge-raske	32	39	31	27	27
	kerge/raske	1,18	1,35	1,10	1,24	1,23
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,14	0,94	1,05	1,04

Hoone massiivsuse mõju ruumide jahutusenergiALE:

- BV2 tulemustes on hoone massiivsuse mõju ruumide jahutamisele kuni 35%;
- Hoone massiivsuse mõju jahutusenergiALE on suurem SF=0,5 korral, mis on igati loogiline suurema päikseenergia salvestumise tõttu;
- Suurimat mõju avaldab hoone massiivsus jahutusenergiALE IDA-ICE programmiga arvutades.

Tabel 43 Ruumi jahutuseenergia sõltuvus klaaside päiksetegurist. Vasakul kerge- ja paremal raske kontsruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	0,3	24	10	63	9	18
	0,5	55	37	117	30	43
	0,3-0,5	-32	-27	-54	-21	-25
	0,3/0,5	0,42	0,28	0,54	0,29	0,41
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,66	1,26	0,69	0,98
Aken 50%	0,3	44	27	109	23	34
	0,5	115	81	203	68	81
	0,3-0,5	-71	-54	-93	-46	-48
	0,3/0,5	0,39	0,34	0,54	0,33	0,41
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,88	1,40	0,86	1,07
Aken 80%	0,3	83	60	183	51	62
	0,5	211	151	331	139	148
	0,3-0,5	-129	-92	-148	-88	-86
	0,3/0,5	0,39	0,39	0,55	0,37	0,42
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,01	1,42	0,94	1,07

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Aken 30%	0,3	19	5	52	6	15
	0,5	46	27	101	25	38
	0,3-0,5	-27	-22	-50	-19	-24
	0,3/0,5	0,41	0,18	0,51	0,25	0,38
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,43	1,25	0,61	0,94
Aken 50%	0,3	33	16	95	17	27
	0,5	94	61	184	57	70
	0,3-0,5	-61	-45	-89	-40	-43
	0,3/0,5	0,35	0,26	0,51	0,30	0,38
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,75	1,48	0,85	1,10
Aken 80%	0,3	62	35	154	37	46
	0,5	179	112	300	112	120
	0,3-0,5	-117	-77	-146	-76	-74
	0,3/0,5	0,35	0,31	0,51	0,33	0,38
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,90	1,48	0,94	1,10

Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide jahutusenergiale:

- Klaasfassaadide päikseteguri mõju ruumide absoluutsele jahutusenergiale (kWh/a) on kõige suurem programmi Riuska puhul, teisena BV2-l;
- Akna osakaalu 80% juures jäävad kõik programmid peale Riuska proportsionaalselt samasse suurusjärku. Väiksemate akende osakaalu puhul jäävad BV2 tulemused samasse kanti VIP Energy omadega;
- Päikseteguri mõju on ülekaalukalt kõige suurem (46-49%) arvutusprogrammi Riuskaga arvutamisel.

Tabel 44 Ruumi jahutusenergia sõltuvus klaaside osakaalust. Vasakul kerge- ja paremal raske kontsruktsioon.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	24	10	63	9	18
	80%	83	60	183	51	62
	80%-30%	59	49	120	42	44
	80%/30%	3,50	5,77	2,91	5,85	3,42
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,65	0,83	1,67	0,98
SF=0,5	30%	55	37	117	30	43
	80%	211	151	331	139	148
	80%-30%	156	115	214	109	104
	80%/30%	3,81	4,10	2,83	4,69	3,40
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,08	0,74	1,23	0,89

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
SF=0,3	30%	19	5	52	6	15
	80%	62	35	154	37	46
	80%-30%	44	31	102	31	32
	80%/30%	3,32	7,50	2,98	5,84	3,16
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	2,26	0,90	1,76	0,95
SF=0,5	30%	46	27	101	25	38
	80%	179	112	300	112	120
	80%-30%	133	86	198	87	82
	80%/30%	3,88	4,20	2,95	4,44	3,15
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,08	0,76	1,15	0,81

Välisfassaadi klaaspindade osakaalu mõju ruumide kütteenergiale:

- Klaasfassaadide osakaal mõjutab ruumide jahutusenergiat proportsionaalselt kõige enam Riuskaga arvutamisel;
- BV2 tulemused sarnanevad kõige rohkem VIP Energy tulemustega. Kuigi BV2 tulemused on absoluutväärtustelt suuremad jagunevad nad proportsionaalselt sarnaselt VIP Energy omadega;
- Klaasfassaadi osakaal omab BV2 puhul suuremat tähtsust suurema klaasi päikseteguri korral.

3.5.3 Järeldused hotelli arvutuste kohta

1. Hoone kütteenergia arvutamisel erinevad tulemused BV2 suhtes väga suurtes piirides, erinedes kuni 10 korda.
2. BV2 erinevus on eriti suur väiksemate aknapindade korral, kus hoone erisoojuskooormus on väiksem. Sel juhul mõjutab suur vabasoojuskooormus hoone kütteenergiat kõige rohkem.
3. Ilmselt arvestavad BV2 ja VIP Energy vabasoojusega rohkem kui võrdlusprogrammid.
4. BV2 puhul on kütteenergia tabelitest selgesti näha, et mida suuremaks läheb klaasfassaadi pind välispiirdes, seda suuremaks läheb klaaside päikseteguri mõju kütteenergiale. Võrdlusprogrammidel jääb see ligikaudu samaks või suureneb minimaalselt. Sellest saab jällegi järeldada, et BV2 puhul on päikseenergia suurema mõjuga kui teistel programmidel.
5. BV2 puhul tuleb välja, et hoone massiivsuse mõju jahutusenergiale on väiksem kui klaaside päikseteguri mõju. Sellest saab järeldada, et võrdlusprogrammid võtavad tunduvalt vähem arvesse päikseenergiat kui BV2.
6. Eelnevate punktide põhjal võib öelda, et antud hoone tüübi puhul (väga suured sisemised vabasoojuskooormused) EI OLE kindlasti adekvaatne kasutada BV2 tarkvara.

3.6 Võimla

Järgnevalt on teostatud võimla analüüs. Esmalt on esitatud lähteandmed edasi tulemused ja järeldused.

3.6.1 Võimla lähteandmed

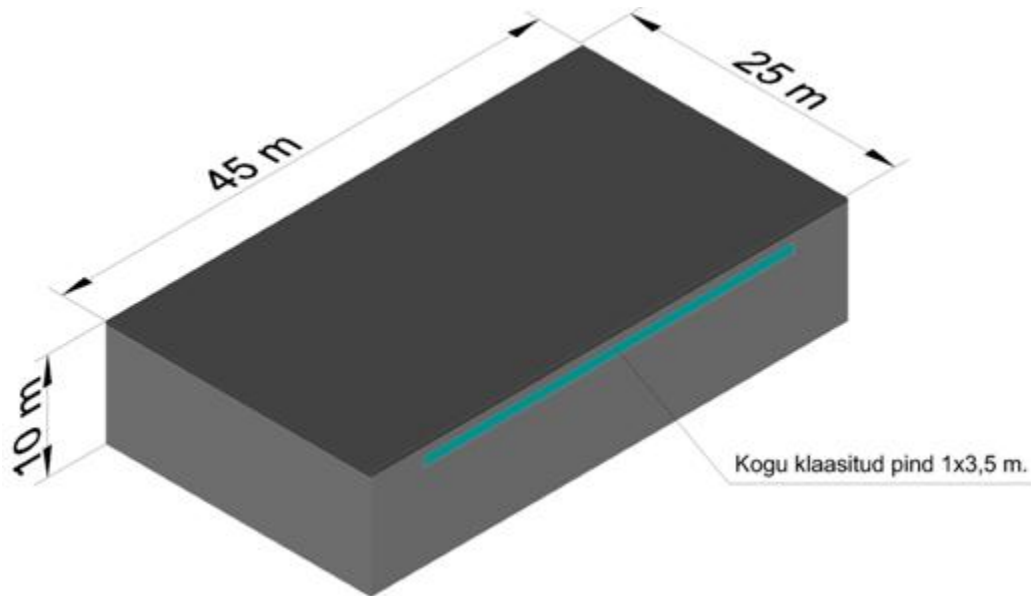
Järgnevalt on kirjeldatud võimla arvutustes kasutatud lähteandmeid. Arvutuste aluseks on võetud ühekordne hoone orientatsiooniga põhja-lõuna suunal (suurem fassaad ida ja lääne suunal).

Simulatsioonid teostati kõikidele kasutatud programmidele 1 tsooni mudelina järgmiste tarkvaradega:

- BV2 3 (arvutuse teostas 3 eri inimest);
- IDA-ICE 2 eri inimest;
- Riuska 3 eri inimest;
- VIP Energy 2 eri inimest;
- BSim 1 inimene;

Arvutus on teostatud ühe klaasfassaadi osakaalu variandina fassaadist (lõuna suunal) ja ühe kindla aknaklaasi päikeseläbivus teguri $g = 0,5$ väärtustega. Samuti on hoone arvutused teostatud vaid kergekonstruktsioonist ehitisele.

Järgnevalt on esitatud illustreeriv joonis arvutustes kasutatud võimla kohta.

**Joonis 33** Võimla.

Järgnevalt on esitatud täpsed lähteandmed arvutustes kasutatud võimla kohta.

Tabel 45 Võimla arvutuste lähteandmed.Hoone temperatuurid:

Madalaim lubatud ruumiõhu temperatuur	18 °C
Kõrgeim lubatud ruumiõhu temperatuur	25 °C

Ventilatsioon:

Sissepuhkeõhu temperatuur	17°C
Ventilatsiooni soojustagasti temperatuuri suhtarv	70%
Ventilatsiooni tööaeg	Ventilatsioon töötab 1 tund enne ja peale ruumi kasutusaega ehk kella 07:00 – 23:00; 5 päeva nädalas tööpäevadel. Ülejäänud ajal ventilaatorid seisavad.
Ventilatsiooni õhuvoolumulgad	2 l/s*m ² (7006 l/s)

Vabasoojused (arvutustes on kasutatud keskmise vabasoojuse kasutusastet).

Kasutusaeg	08:00-22:00; 5 päeva nädalas
Keskmine kasutusaste	0,5
Valgustus	18 W/m ²
Seadmed	0 W/m ²
Inimesed	5 W/m ²
Pind mille alusel vabasoojused määratakse	hoone köetav pind

U-arvud:

Välissein	0,20 W/K*m ²
Katuslagi	0,15 W/K*m ²
Põrand pinnasel (Maapinna temperatuur on +7°C, 1 m pinnast põranda konstruktsiooni all).	0,10 W/K*m ²
Aken (kaalutud keskmine koos raamiga)	1,50 W/K*m ²

Hoone üldandmed:

Sisepindala	1125 m ²
Infiltratsioon	0,077 l/s, m ² (87 l/s)

Külmasillad:

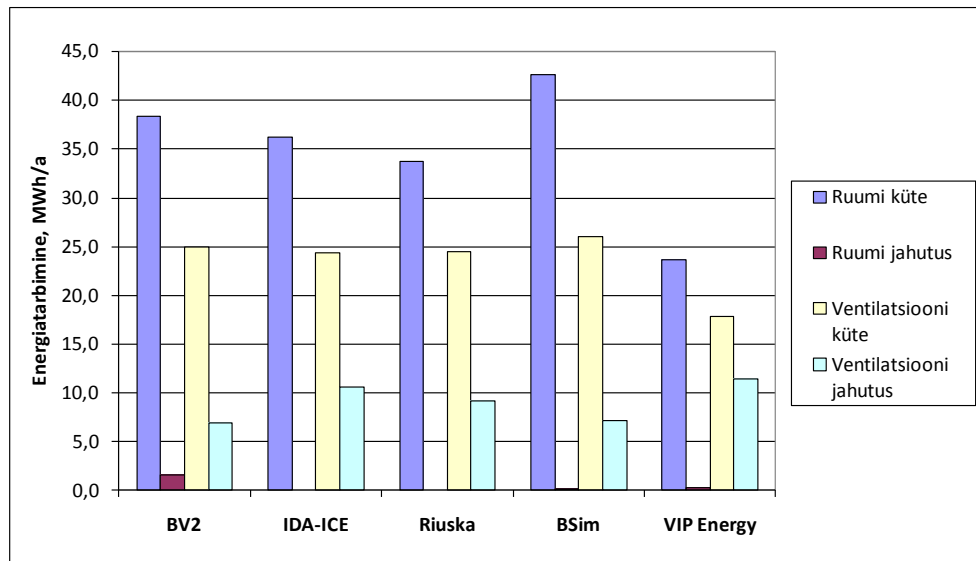
Välissein- põrand	0,09 W/K*m
Välissein- katuslagi	0,07 W/K*m
Akna perimeeter	0,07 W/K*m

3.6.2 Võimla arvutuste tulemused:

Simulatsioonide tulemused on alljärgnevas tabelis ja joonistel.

Tabel 46 Võimla energiakulud.

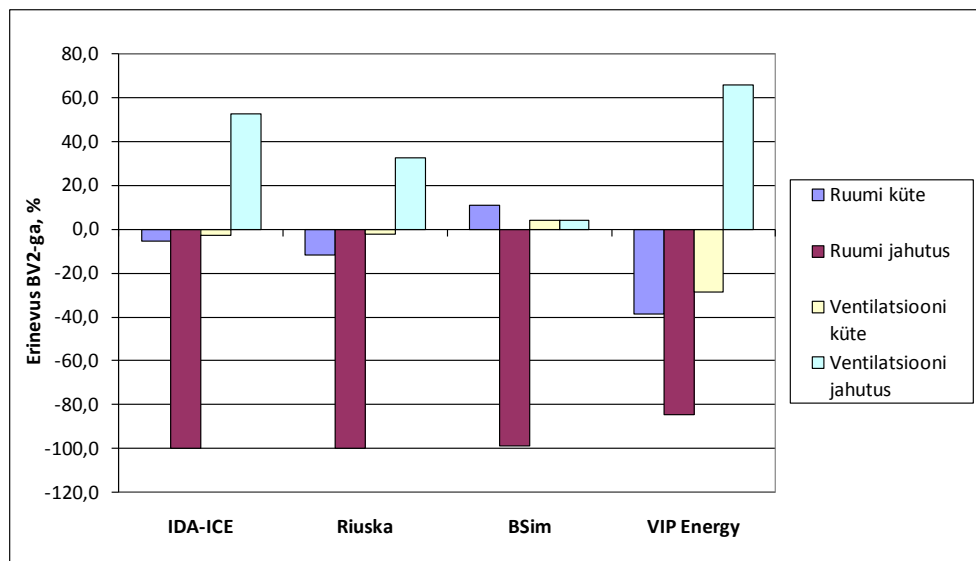
	Absoluutväärtus, MWh/a				
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
Ruumi küte	38,3	36,2	33,8	42,6	23,6
Ruumi jahutus	1,6	0,0	0,0	0,0	0,3
Ventilatsiooni küte	25,0	24,4	24,5	26,0	17,8
Ventilatsiooni jahutus	6,9	10,6	9,1	7,2	11,5



Joonis 34 Võimla energiakulud.

Tabel 47 Võimla energiakulude erinevus BV2 suhtes.

Erinevus BV2-ga, %					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSIm	VIP Energy
Ruumi küte	0,0	-5,6	-11,8	11,1	-38,4
Ruumi jahutus	0,0	-100,0	-100,0	-98,8	-84,4
Ventilatsiooni küte	0,0	-2,6	-2,1	4,0	-28,8
Ventilatsiooni jahutus	0,0	52,9	32,4	4,3	65,9



Joonis 35 Võimla energiakulude erinevus BV2 suhtes.

3.6.3 Võimla arvutuste järeldused

Teostatud simulatsioonide põhjal võib teha järgnevad üldistused:

- Eri programmidega saadud arvutustulemused erinesid suhteliselt suurtes piirides;
- VIP Energy saadud küttesüsteemi energiakulu oli oluliselt väiksem kui teiste programmide tulemused;
- Kui jätta VIP Energy võrdlusest välja, siis oli küttesüsteemi suhteline viga +/- 12 %;
- BV2 andis ruumide jahutussüsteemi energiaks 1,6 MWh, teistel oli jahutusvajadus praktiliselt olematu. Iseenesest on 1,6 MWh (1,3 kWh/m²) suhteliselt tühine tarbimine ja oma energiabilansis olulist rolli, kuid kuna teiste programmide ruumide jahutusvajadus oli nullilähedane, on suhteline viga suur;
- Ventilatsiooni soojusenergia tarbimine (va VIP Energy) oli samas suurusjärgus ja suhteline viga jäi alla 4 %;
- BV2 ventilatsiooni jahutusenergia tarbimine oli oluliselt väiksem teiste programmidega (va BSim) saadud tulemustest, suhteline viga võrreldes Riuskaga oli 32 ja IDA-ICE'ga 53 %.

3.7 Spordihoone

Spordihoone modelleerimiseks võeti aluseks sama hoone, mis oli kasutusel võimla energiatarbe arvutamisel, st kasutati samade mõõtme, ehitus-füüsikaliste parameetrite, ventilatsiooni ja orientatsiooniga hoone mudelit. Ainukeseks erinevused olid kasutusprofiilides:

- Spordihoone korral töötas ventilatsioon 7 päeva nädalas kl 7:00-23:00 (võimla korral 5 päeva nädalas kl 7:00-23:00);
- Vabasoojuse keskmine kasutusaste oli 0,6; valgustuse vabasoojus 20 W/m² (võimlal vastavalt 0,5 ja 18 W/m²)

Simulatsioonid teostati järgmiste tarkvaradega:

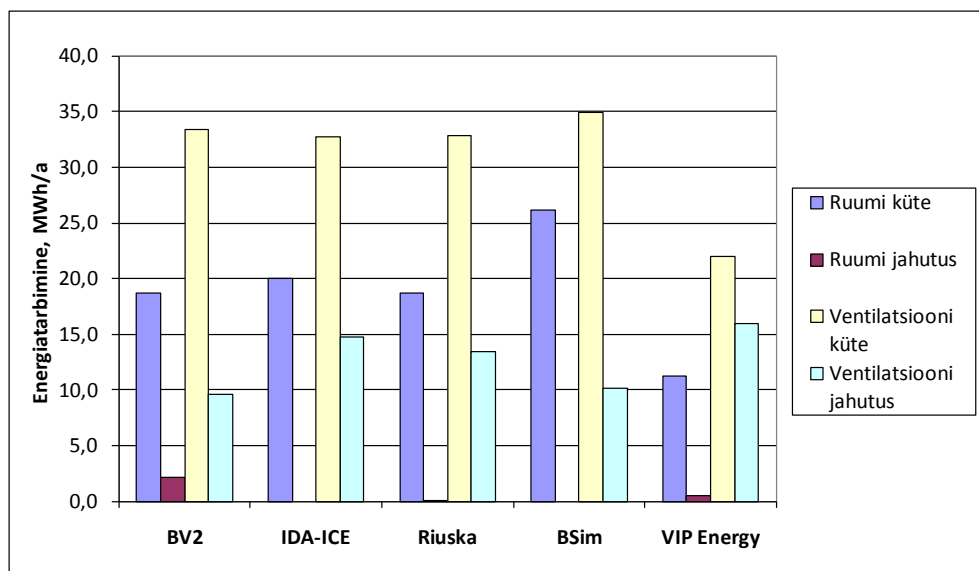
- BV2 3 eri inimest;
- IDA-ICE 2 eri inimest;
- Riуска 3 eri inimest;
- VIP Energy 2 eri inimest;
- BSim 1 inimene.

3.7.1 Spordihoone arvutuste tulemused

Simulatsioonide tulemused on alljärgnevas tabelis ja joonistel.

Tabel 48 Spordihoone energiakulud

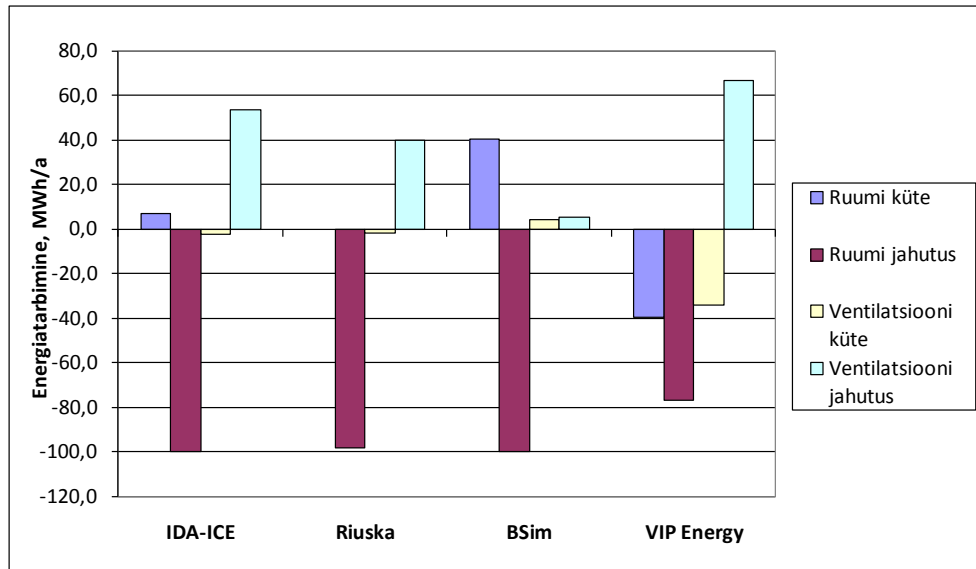
	Absoluutväärtus, MWh/a				
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
Ruumi küte	18,7	20,0	18,7	26,2	11,3
Ruumi jahutus	2,2	0,0	0,0	0,0	0,5
Ventilatsiooni küte	33,4	32,7	32,8	34,9	22,0
Ventilatsiooni jahutus	9,6	14,8	13,4	10,1	16,0



Joonis 36 Spordihoone energiakulud.

Tabel 49 Spordihoone energiakulude erinevus BV2 suhtes.

	Erinevus BV2-ga, %				
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
Ruumi küte	0,0	7,1	0,0	40,4	-39,5
Ruumi jahutus	0,0	-100,0	-98,5	-100,0	-76,9
Ventilatsiooni küte	0,0	-2,2	-1,8	4,4	-34,2
Ventilatsiooni jahutus	0,0	53,6	39,9	5,2	66,7



Joonis 37 Spordihoone energiakulude erinevus BV2 suhtes.

3.7.2 Spordihoone arvutuste järeldused

Spordihoone simulatsioonide põhjal võib teha järgmised üldistused:

- Eri programmidega saadud arvutustulemused erinesid suhteliselt suurtes piirides;
- VIP Energy saadud küttesüsteemi energiakulu oli oluliselt väiksem kui teiste programmidega saadud tulemused, BSim omad aga oluliselt suuremad;
- BV2 küttesüsteemi energiakulu oli samane Riuska omaga ja IDA omast 7 % väiksem;
- Küttesüsteemi soojuskulu suhteline viga oli vahemikus -40...+55 %;
- BV2 andis ruumide jahutussüsteemi energiaks 2,2 ja VIP Energy 0,5 MWh, teistel jahutusvajadus puudus. Iseenesest on 2,2 ja 0,5 MWh suhteliselt tühine tarbimine ja oma energiabilansis olulist rolli. Kuna teiste programmide ruumide jahutusvajadus oli 0, on suhteline viga suur;
- Ventilatsiooni soojusenergia tarbimine (va VIP Energy) oli samas suurusjärgus ja suhteline viga jäi alla 4,5 %;
- BV2 ventilatsiooni jahutusenergia tarbimine oli oluliselt väiksem teiste programmidega (va BSim) saadud tulemustest ja suhteline viga oli üle 50 %;
- Kogu soojustarbimine (küte+ventilatsioon) oli BV2 samas suurusjärgus Riuska ja IDA'ga (suhteline viga alla 2 %), ülejäänud programmidega võrreldes küündis suhteline viga kuni 36 %'ni (VIP Energy);
- Kuna nii ruumide kui ka ventilatsiooni jahutuse osas erines BV2 oluliselt teiste programmidega saadud tulemustes, oli summaarse jahutuse tarbimise osas suured erinevused – suhteline viga oli vahemikus -14...+40 %.

3.7.3 Võimla ja spordihoone tulemuste võrdlus

Kuna võimla ja spordihoone simulatsioonideks kasutati samasid hoone mudeleid ja ainukesed erinevused olid ventilatsiooni tööajas (spordihoone ventilatsioon töötas lisaks ka nädalavahetustel) ning vabasoojustes (spordihoones on rohkem vabasoojust), siis on mõistlik analüüsida ka nende kahe hoonetüübi tulemusi koos.

Spordihoone ja võimla tarbimised on toodud alljärgnevas tabelis, kusjuures tabelis on toodud muutus (suhe Spordihoone/Võimla) iga programmi lõikes ja muutus BV2 suhtes (suhe $(\text{Spordihoone}_{\text{vaadeldav programm}}/\text{Võimla}_{\text{vaadeldav programm}})/(\text{Spordihoone}_{\text{BV2}}/\text{Võimla}_{\text{BV2}})$).

Tabel 50 Spordihoone ja võimla soojus- ja jahutustarbimiste võrdlus.

		BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
Ruumide kütte	Spordihoone	18,7	20,0	18,7	26,2	11,3
	Võimla	38,3	36,2	33,8	42,6	23,6
	Võimla-Spordihoone	19,7	16,2	15,1	16,4	12,3
	Spordihoone/Võimla	0,49	0,55	0,55	0,62	0,48
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,13	1,13	1,26	0,98
Ruumide jahutus	Spordihoone	2,2	0,0	0,0	0,0	0,5
	Võimla	1,6	0,0	0,0	0,0	0,3
	Võimla-Sport	-0,6	0,0	0,0	0,0	-0,3
	Sport/Võimla	1,35	0,00	0,00	0,00	2,00
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,00	0,00	0,00	1,48
Ventilatsiooni kütte	Spordihoone	33,4	32,7	32,8	34,9	22,0
	Võimla	25,0	24,4	24,5	26,0	17,8
	Võimla-Sport	-8,4	-8,4	-8,4	-8,9	-4,2
	Sport/Võimla	1,34	1,34	1,34	1,34	1,24
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92
Ventilatsiooni jahutus	Spordihoone	9,6	14,8	13,4	10,1	16,0
	Võimla	6,9	10,6	9,1	7,2	11,5
	Võimla-Sport	-2,7	-4,2	-4,3	-2,9	-4,6
	Sport/Võimla	1,39	1,40	1,47	1,40	1,40
	muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,00	1,06	1,01	1,00

Spordihoone ja võimla tulemuste võrdlusest võib teha järgmised üldistused:

- Ruumide kütte
 - IDA-ICE ja Riuska suhtelised muutused ruumide kütte osas olid samased, kui absoluutväärtustes oli väike erinevus (1,1 MWh).
 - Võrreldes teiste programmidega võttis BV2 rohkem sisemist vabasoojust arvesse ja/või avaldas mõju sissepuhkeõhk oma parameetritega.
- Ruumide jahutus
 - Jahutuse tarbimine oli suhteliselt tühine ja selle põhjal ei saa põhjapanevaid järeldusi teha. Kuid arvestades, et BV2 kütte vajadus vähenes võrreldes teiste programmidega rohkem ja BV2'l esineb jahutusvajadus, võib oletada, et BV2 võtab rohkem arvesse vabasoojust.

- Ventilatsiooni soojus
 - Ventilatsiooni soojusenergia kasvas kõikidel programmidel (va VIP Energy) samas proportsioonis ja loogiliselt. VIP Energy tulemus tundub olevat ebaadekvaatne.
- Ventilatsiooni jahutus
 - Kõigi programmide ventilatsiooni jahutusenergia tarbimised suurenesid praktiliselt samas proportsioonis, kuid absoluutväärtuste vähenemine erines kuni 2 korda. BV2 käitus analoogselt BSim'ga.

3.8 Soojapidav hoone

Järgnevalt on teostatud soojapidava hoone analüüs. Esmalt on esitatud lähteandmed, edasi tulemused ja järeldused.

3.8.1 Soojapidava hoone lähteandmed

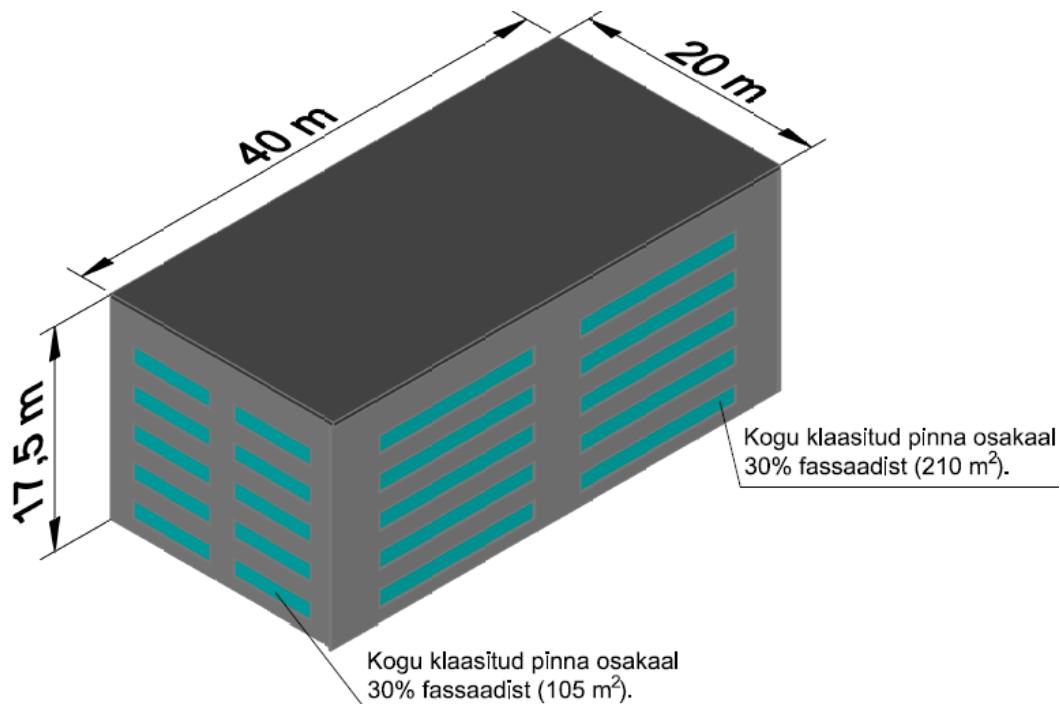
Järgnevalt on kirjeldatud madala energiatarbega hoone arvutustes kasutatud lähteandmeid. Arvutuste aluseks on võetud viiekordne hoone orientatsiooniga põhja-lõuna suunal (suurem fassaad ida ja lääne suunal).

Simulatsioonid teostati järgmiste tarkvaradega:

- | | |
|----------|------------------------------------|
| ○ BV2 | 3 (arvutuse teostas 3 eri inimest) |
| ○ IDA | 2 eri inimest |
| ○ Riuska | 3 eri inimest |
| ○ VIP+ | 2 eri inimest |
| ○ BSim | 1 inimene |

Arvutus on teostatud ühe klaasfassaadi osakaalu variandina 30 % fassaadist (ida-lääne ja põhja-lõuna suunal) ja ühe kindla aknaklaasi päikeseläbivus teguri $g = 0,5$ väärtustega. Samuti on hoone arvutused teostatud vaid raske konstruktsioonist ehitisele.

Järgnevalt on esitatud illustreeriv joonis arvutustes kasutatud madala energiatarbega maja kohta.

**Joonis 38** Soojapidav hoone.

Järgnevalt on esitatud täpsed lähteandmed arvutustes kasutatud madala energiatarbega hoone kohta.

Tabel 51 Madala energiatarbega hoone arvutuste lähteandmed.Hoone temperatuurid:

Madalaim lubatud ruumiõhu temperatuur	21 °C
Kõrgeim lubatud ruumiõhu temperatuur	25 °C

Ventilatsioon:

Sissepuhkeõhu temperatuur	18°C
Ventilatsiooni soojustagasti temperatuuri suhtarv	90%
Ventilatsiooni tööaeg	Ventilatsioon töötab 1 tund enne ja peale ruumi kasutusaega ehk kella 06:00 – 19:00; 5 päeva nädalas tööpäevadel. Ülejäänud ajal ventilaatorid seisavad.
Ventilatsiooni õhuvooluhulgad	2 l/s*m ² (7006 l/s)

Vabasoojused (arvutustes on kasutatud keskmise vabasoojuse kasutusastet).

Kasutusaeg	07:00-18:00; 5 päeva nädalas
Keskmine kasutusaste	0,55
Valgustus	15 W/m ²
Seadmed	18 W/m ²
Inimesed	5 W/m ²
Pind mille alusel vabasoojused määratakse	hoone köetav pind

U-arvud:

Välissein	0,1 W/K*m ²
Katuslagi	0,08 W/K*m ²
Põrand pinnasel (Maapinna temperatuur on +7°C, 1 m pinnast põranda konstruktsiooni all).	0,1 W/K*m ²
Aken (kaalutud keskmine koos raamiga)	1,0 W/K*m ²

Hoone üldandmed:

Sisepindala	3503 m ²
Infiltratsioon	0,056 l/s, m ² (196 l/s)

Külmasillad:

Välissein- põrand	0,09 W/K*m
Välissein- katuslagi	0,07 W/K*m
Akna perimeeter	0,07 W/K*m

3.8.2 Soojapidava hoone arvutuste tulemused

Simulatsioonide tulemused on toodud alljärgnevates tablitest ja joonistel.

Tabel 52 Ruumide küte (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

Absoluutväärtusena, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
20	41	36	30	31
Erinevus BV2-st,%				
BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
0	105	78	52	58

Tabel 53 Ruumide jahutus (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

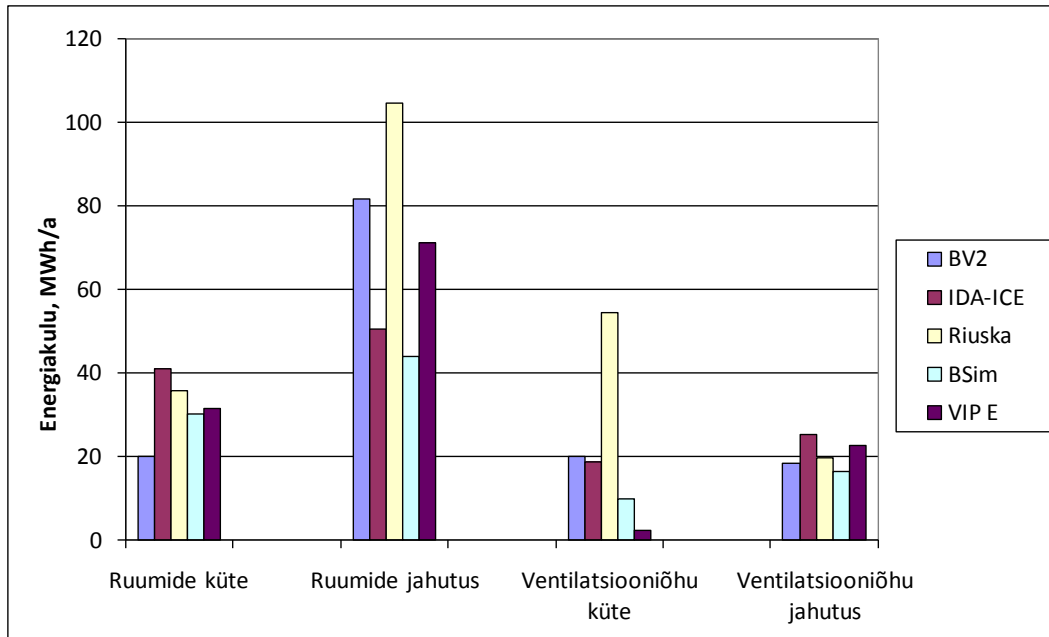
Absoluutväärtusena, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
82	51	105	44	71
Erinevus BV2-st,%				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
0	-38	28	-46	-13

Tabel 54 Ventilatsiooniõhu küte (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

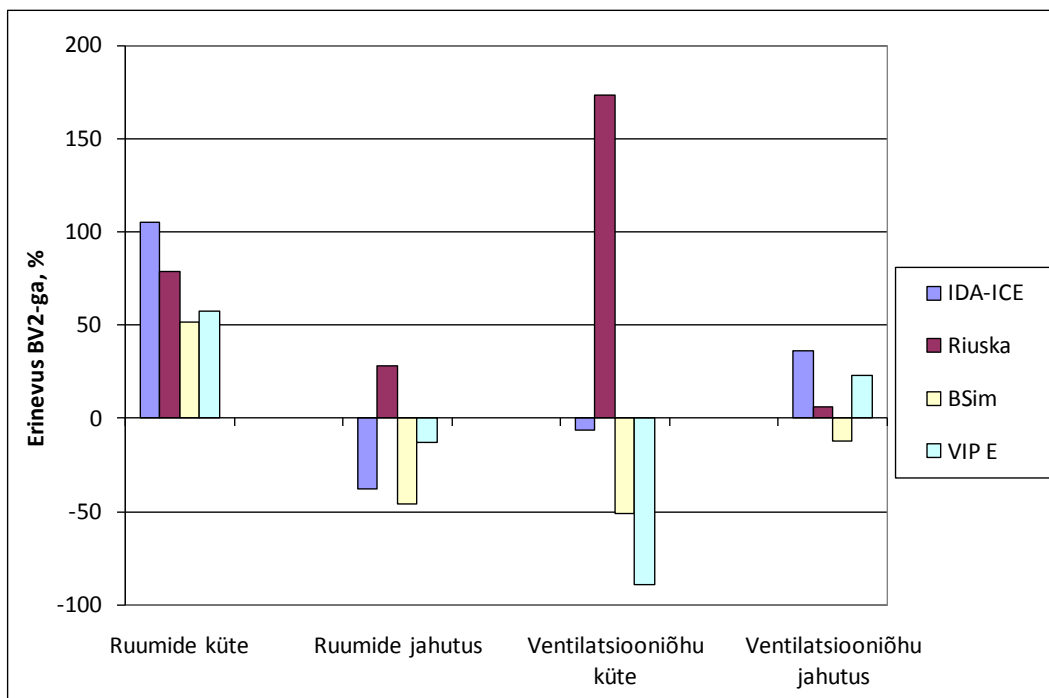
Absoluutväärtusena, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
20	19	55	10	2
Erinevus BV2-st,%				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
0	-6	174	-51	-89

Tabel 55 Ventilatsiooniõhu jahutus (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

Absoluutväärtusena, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
19	25	20	16	23
Erinevus BV2-st,%				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
0	36	6	-12	23



Joonis 39 Energia kulu.



Joonis 40 Energiakulu erinevused võrreldes BV2-ega.

Madala soojusjuhtivusega välispiiretega hoone simulatsioonide tulemuste põhjal võib teha järgmist, et:

- Ruumide kütte:
 - Eriprogrammide tulemused kõiguvad BV2 suhtes väga suurtes piirides (kuni 105%);
 - BV2 tulemus on kõige väiksem. Vahe järgmise programmiga (BSim) on 52%;
 - BSim ja VIP+ andsid sarnase tulemuse (erinevus alla 5%). Riuska ja IDA-ICE tulemused olid suuremad ja BV2-el väiksemad.
- Ruumide jahutus:
 - BV2 tulemused on kõrgemad, kui enamusel teistel programmidel (va Riuska);
 - Erinevused ruumide jahutusenergia vajaduses kõiguvad võrreldes BV2-ega kuni 46%;
 - Kõige lähedasema tulemuse BV2-le andis VIP+. Tulemuste erinevus 13%.
- Ventilatsiooniõhu soojendamine:
 - BV2 tulemused klappivad hästi IDA-ICE tulemustega, erinedes ainult 7%. BSim ja VIP+ tulemused on väiksemad, kui BV2-el, Riuskal suuremad;
 - Väga suured erinevused on Riuska tulemustega (174% suurem).
- Ventilatsiooniõhu jahutus:
 - Ventilatsiooniõhu jahutuse tulemused on antud hoone puhul kõige ühtlasemad, erinedes võrreldes BV2-ga kuni 36% (IDA-ICE);
 - BV2-le on kõige lähedasemad Riuska tulemused (erinevus 6%).

Energiasimulatsioone kasutatakse sageli ka hoone madalaenergiatarbega maja (näiteks Kesk-Euroopa passiivmaja) vastavuse tõendamiseks. Sageli on üheks tõendamise kriteeriumiks kütte netoenergia erikulu kWh/m². Mõnel juhul läheb arvesse ainult ruumide kütte, mõnel juhul kütte ja ventilatsiooni summaarne kulu. Alljärgnevas tabelis on toodud antud hoone erikulu

Tabel 56 Kütte netoenergia erikulu.

Kütte netoenergia erikulu, kWh/a*m ²					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
Ruumide kütte	5,7	11,7	10,3	8,6	8,8
Ventilatsiooni kütte	5,7	5,4	15,7	2,9	0,6
Kokku	11,4	17,1	26,0	11,4	9,4

Näiteks kui lähtuda nn passiivmaja standardi nõudest, mille kohaselt ei tohiks olla kütte ja ventilatsiooni summaarne netoenergiakulu üle 15 kWh/m², siis antud näite korral BV2, BSim ja VIP Energy'ga arvutades see nõue täidetakse, IDA-ICE ja Riuska korral mitte. Eri programmide korral on erinevus üle 2,5 korra. BSim ja VIPEnergy tulemuste juures tuleb arvestada, et nendes programmides on ventilatsiooni energia tulevalat külmumisvstase temperatuuri kontrolli puudumisest väiksem Tulemuste suur erinevus viitab asjaolule, et tõendamisel tuleks kasutada ühte tarkvara.

3.9 Büroo, koolimaja, hotelli ja soojapidava hoone võrdlus

Järgnevalt on teostatud büroo, koolimaja, hotelli ja soojapidava hoone võrdlusanalüüs. Esmalt on esitatud lähteandmed, edasi tulemused ja järeldused.

3.9.1 Arvutuste lähteandmed

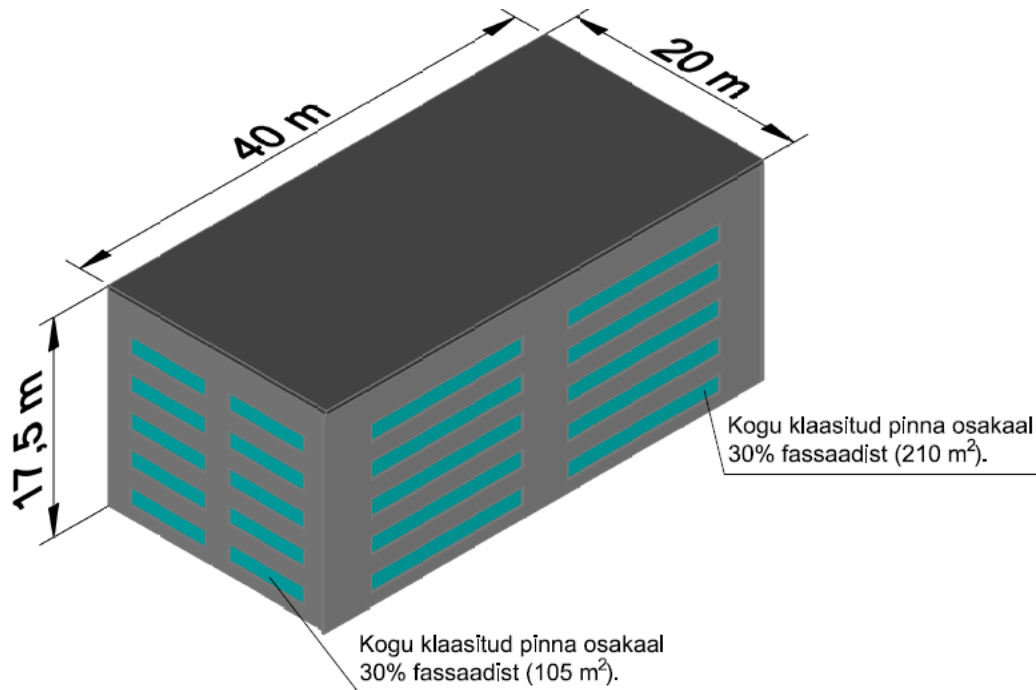
Büroo (B), koolimaja (K), hotelli (H) ja soojapidava hoone (SPH) mudelites esines variant, kus lähtuti samasugusest hoone välisfassaadist

- Klaasfassaadi osakaal 30 % fassaadist (ida-lääne ja põhja-lõuna suunal);
- aknaklaasi päikeseläbivus tegur $g = 0,5$ väärtustega;
- raske konstruktsioon;
- viiekordne hoone.

Simulatsioonid teostati järgmiste tarkvaradega:

- BV2 3 (arvutuse teostas 3 eri inimest);
- IDA 2 eri inimest;
- Riuska 3 eri inimest;
- VIP+ 2 eri inimest;
- BSim 1 inimene.

Järgnevalt on esitatud illustreeriv joonis arvutustes kasutatud hoone väliskuju kohta.



Joonis 41 Hoone väliskuju.

3.9.2 Tulemused

Alljärgnevalt on analüüsitud erinevate mudelite ja programmidega saadud ruumide kütte- ja jahutusenergiaid.

Erinevate hoone tüüpide (mudelite) tulemuste võrdlemisel ja interpreteerimisel on vaja võtta arvesse järgmised asjaolud:

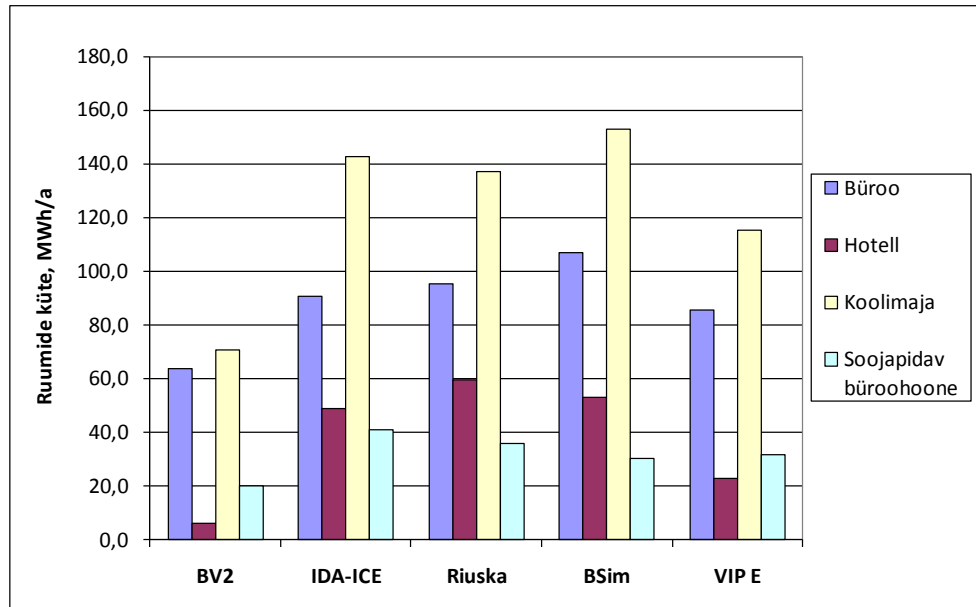
- büroo, koolimaja ja hotelli piirdekonstruktsioonid on samased;
- büroo, koolimaja ja hotelli kasutusprofiilid (büroo 5 päeva nädalas, kl 06:00-19:00) ; koolimaja 5 päeva nädalas, kl 08:00-16:00; hotell päeva nädalas, kl 00:00-00:00) ja vabasoojustused ning ventilatsiooni õhuvooluhulgad (büroo 2 l/s· m², koolimaja 4 l/s· m² hotell 1,5 l/s· m²) olid erinevad;
- büroo ja soojapidava hoone kasutusprofiilid, vabasoojustused ja ventilatsiooni õhuvooluhulgad olid samased, erinevus oli ainult välispiirete U-arvudes.

Kuna akende parameetrid olid kõigi mudelite korral samased, siis on ka kõigi variantide päikesekiirgused hoonesse samased.

Võrdlusanalüüsi tulemused on toodud alljärgnevates tabelites. Tabelites on toodud ka iga programmi lõikes iga mudeli (hoone tüübi) tulemuste muutus võrreldes büroohoone mudeliga absoluutväärtusena ja kordarvuna

Tabel 57 Ruumide küte.

	Ruumide küte, MWh/a					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E	Teiste keskmine
Büroo	63,6	90,9	95,3	107	85,4	94,6
Hotell	5,9	48,9	59,7	52,9	23	46,1
Koolimaja	70,8	142,9	137,2	153,1	115,5	137,2
Soojapidav büroohoone	20	40,9	35,6	30,3	31,5	34,6
Hotell-Büroo	-57,7	-42	-35,6	-54,1	-62,4	-48,5
Kool-Büroo	7,2	52,1	41,9	46,1	30,1	42,5
SPB-Büroo	-43,6	-50	-59,7	-76,7	-54	-60,1
Hotell/Büroo	0,09	0,54	0,63	0,49	0,27	0,48
Kool/Büroo	1,11	1,57	1,44	1,43	1,35	1,45
SPB/Büroo	0,31	0,45	0,37	0,28	0,37	0,37



Joonis 42 Ruumide kütte.

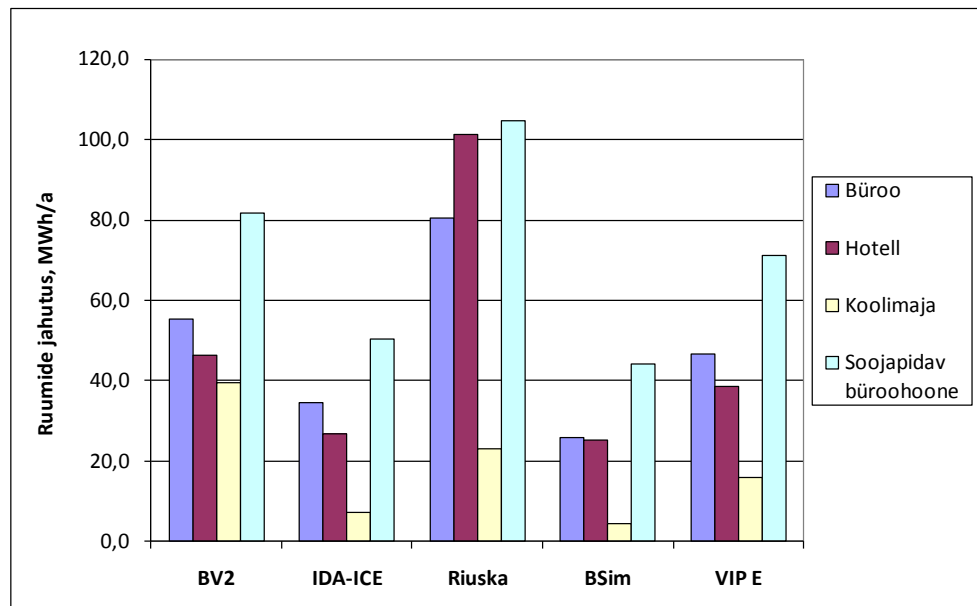
3.9.3 Büroo, koolimaja, hotelli ja soojapidava hoone võrdluse järeldused

Antud simulatsioonide koondanalüüsi põhjal saab ruumide kütte netoenergia kohta teha järgmised üldistused:

- BV2 küttekulud on kõigi variantide korral oluliselt väiksemad;
- Võrreldes hotelli (milles töötab ventilatsioon 24 h ja 7 päeva nädalas, ventilatsiooni õhuvoolumaht on $\frac{3}{4}$ büroo omast ja aastas on sisemist vabasoojust ca 180 MWh võrra rohkem) tulemusi büroohoonega selgub, et BV2 kütteenergia on hotellil pea suurusjärgu võrra väiksem. Absoluutväärtuse vähenemine on teiste võrdlusprogrammide keskmisest suurem, proportsionaalselt on vähenemine ca 5 korda suurem kui teiste keskmine. Siit võib teha üldistuse, et BV2 arvestab oluliselt rohkem sisemiste vabasoojustega (valgustus, inimesed ja seadmed);
- Võrreldes kooli (milles töötab ventilatsioon päevas 5 tundi vähem, ventilatsiooni õhuvoolumaht on 2 korda suurem büroo omast ja aastas on sisemist vabasoojust ca 45 MWh võrra vähem) tulemusi büroohoonega selgub, et BV2 absoluutväärtuse kasv on teiste võrdlusprogrammide keskmisest üle 5 korda väiksem ja proportsionaalselt on suurenemine oluliselt väiksem kui teistel programmidel;
- Võrreldes soojapidavat büroohonet (mille erinevus büroohonest on ainult soojapidavamates välispiiretes – $\Sigma U \cdot A$ on ca 1,8 korda väiksem) tulemusi büroohoonega selgub, et BV2 absoluutväärtuse vähenemine on teiste võrdlusprogrammide keskmisest oluliselt väiksem ja proportsionaalselt on vähenemine mõningal määral suurem kui teistel programmidel (va BSim).

Tabel 58 Ruumide jahutus.

	Ruumide jahutus, MWh/a					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E	Teiste keskmine
Büroo	55,3	34,4	80,5	25,9	46,7	46,9
Hotell	46,2	26,8	101,4	25,3	38,4	48
Koolimaja	39,3	7,1	23	4,4	15,9	12,6
Soojapidav büroohoone	81,7	50,5	104,8	44	71,2	67,6
Hotell-Büroo	-9,1	-7,7	20,9	-0,6	-8,3	1,1
Kool-Büroo	-16	-27,4	-57,6	-21,5	-30,8	-34,3
SPB-Büroo	26,4	16,1	24,2	18,1	24,5	20,7
Hotell/Büroo	0,84	0,78	1,26	0,98	0,82	0,96
Kool/Büroo	0,71	0,2	0,29	0,17	0,34	0,25
SPB/Büroo	1,48	1,47	1,3	1,7	1,53	1,5

**Joonis 43** Ruumide jahutus.

Antud simulatsioonide koondanalüüsi põhjal saab ruumide jahutuse netoenergia kohta teha järgmised üldistused:

- Hotelli jahutuse tulemused erinesid programmide lõikes nii suurtes piirides, et nende põhjal ei saa teha üldistusi. Võrreldes hotelli (milles töötab ventilatsioon 24 h ja 7 päeva nädalas, ventilatsiooni õhuvoolumaht on $\frac{3}{4}$ büroo omast ja aastas on sisemist vabasoojust ca 180 MWh võrra rohkem) tulemusi büroohoonega on BV2 absoluutväärtuse vähenemine 9,1 MWh ja proportsionaalne vähenemine 0,84 korda;
- Koolimaja jahutuse tulemused erinesid eri programmidel nii suurtes piirides, et ei saa teha üldistusi. Võrreldes koolimaja (milles töötab ventilatsioon päevas 5 tundi vähem, ventilatsiooni õhuvoolumaht on 2 korda suurem büroo omast ja aastas on sisemist vabasoojust ca 45 MWh võrra vähem) tulemusi büroohoonega vähenes BV2

jahutusvajadus 16 MWh ja proportsionaalselt 0,71 korda (teiste programmide keskmised näitajad olid vastavalt 34 MWh ja 0,25). Võrreldes teiste programmide keskmisega, vähenes BV2 jahutusvajadus vähem;

- Soojapidava büroohoone jahutuse tulemused erinesid eri programmidel nii suurtes piirides, et ei saa teha üldistusi. Võrreldes soojapidavat büroohonet (mille erinevus büroohonest on ainult soojapidavamates välispiiretes – ΣU·A on ca 1,8 korda väiksem) tulemusi bürooohonega suurenes BV2 jahutusvajadus 26 MWh ja proportsionaalselt 1,48 korda (teiste programmide keskmised näitajad olid vastavalt 21 MWh ja 1,5). Võrreldes teiste programmide keskmisega, vähenes BV2 jahutusvajaduse absoluutväärtus rohkem ja proportsionaalselt keskmisega samas suurusjärgus.

3.10 Suure klaaspinnaga fassaadi ja orientatsiooni mõju hoone energiatarbele

Järgnevalt on teostatud suure klaaspinnaga fassaadi võrdlusanalüüs. Esmalt on esitatud lähteandmed, edasi tulemused ja järeldused.

3.10.1 Arvutuste lähteandmed

Järgnevalt on kirjeldatud suure klaasfassaadiga hoone arvutustes kasutatud lähteandmeid. Arvutuste aluseks on võetud viiekordne hoone.

Simulatsioonid teostati järgmiste tarkvaradega:

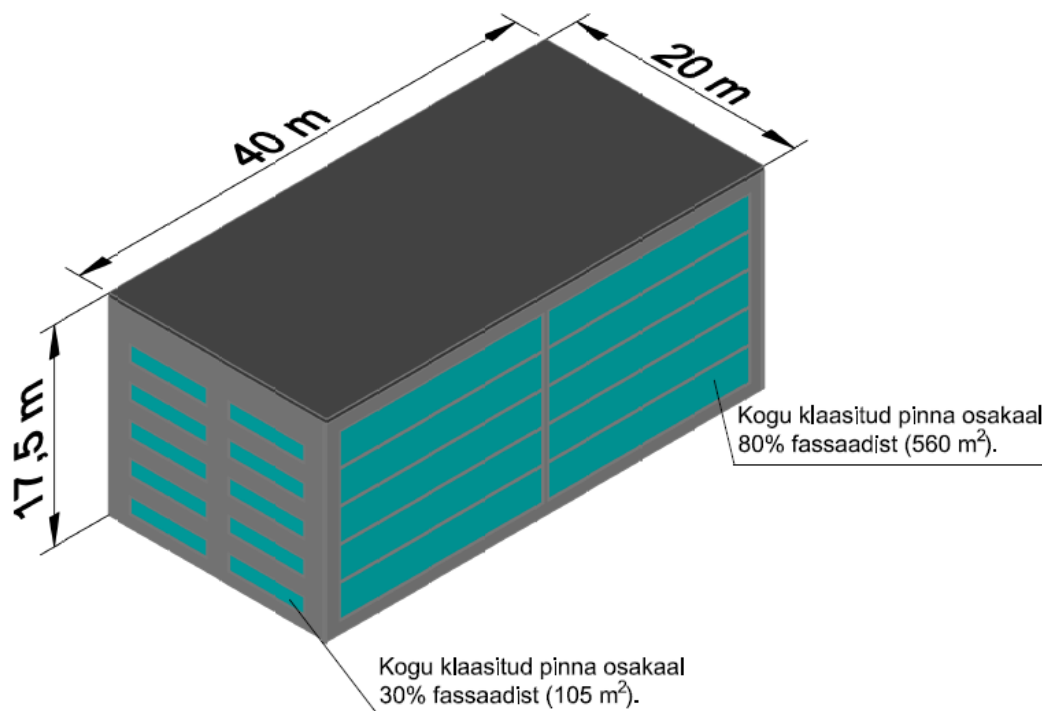
- BV2 3 (arvutuse teostas 3 eri inimest);
- IDA 2 eri inimest;
- Riuska 3 eri inimest;
- VIP+ 2 eri inimest;
- BSim 1 inimene.

Arvutus on teostatud klaasfassaadi osakaalu variandina, kus hoone ühe pikema fassaadi akende osakaal fassaadi pinnast on 80 % (akna raam sellest 10 %) ja ülejäänud kolme fassaadi akende osakaal on 30 % (akna raam sellest 10 %)

Arvutus on teostatud ühe kindla aknaklaasi päikeseläbivus teguri $g = 0,5$ väärtustega ja ainult raske konstruktsioonist ehitisele.

Hoone energiaarvutused on teostatud vastavalt 1 tsooni mudelina programmidele BV2 ja VIP Energy (arvestades vahesinte ja -lagedega) ning 20 tsooni mudelina programmidele IDAice, Riuska ja Bsim. Simulatsioonides kasutati büroohoone standardkasutusi ja -profiile

Järgnevalt on esitatud illustreerivalt arvutustes kasutatud suure klaasfassaadiga hoone.



Joonis 44 Suure klaasfassaadiga hoone.

Täpsemad lähteandmed on mudeli kohta toodud alljärgnevas tabelis

Tabel 59 Orinentatsiooni mõju hinnanguks mudeli lähteandmed.

Hoone temperatuurid:

Madalaim lubatud ruumiõhu temperatuur	21 °C
Kõrgeim lubatud ruumiõhu temperatuur	25 °C

Ventilatsioon:

Sissepuhkeõhu temperatuur	18°C
Ventilatsiooni soojustagasti temperatuuri suhtarv	80%
Ventilatsiooni tööaeg	Ventilatsioon töötab 1 tund enne ja peale ruumi kasutusaega ehk kella 06:00 – 19:00; 5 päeva nädalas tööpäevadel. Ülejäänud ajal ventilaatorid seisavad.
Ventilatsiooni õhuvooluhulgad	2 l/s*m ² (7006 l/s)

Vabasoojused (arvutustes on kasutatud keskmise vabasoojuse kasutusastet).

Kasutusaeg	07:00-18:00; 5 päeva nädalas
Keskmine kasutusaste	0,55
Valgustus	15 W/m ²
Seadmed	18 W/m ²
Inimesed	5 W/m ²
Pind mille alusel vabasoojused määratakse	hoone köetav pind

U-arvud:

Välissein	0,22 W/K*m ²
Katuslagi	0,17 W/K*m ²
Põrand pinnasel (Maapinna temperatuur on +7°C, 1 m pinnast põranda konstruktsiooni all).	0,15 W/K*m ²
Aken (kaalutud keskmine koos raamiga)	1,70 W/K*m ²

Hoone üldandmed:

Sisepindala	3503 m ²
Infiltratsioon	0,056 l/s, m ² (196 l/s)

Külmasillad:

Välissein- põrand	0,09 W/K*m
Välissein- katuslagi	0,07 W/K*m
Akna perimeeter	0,07 W/K*m

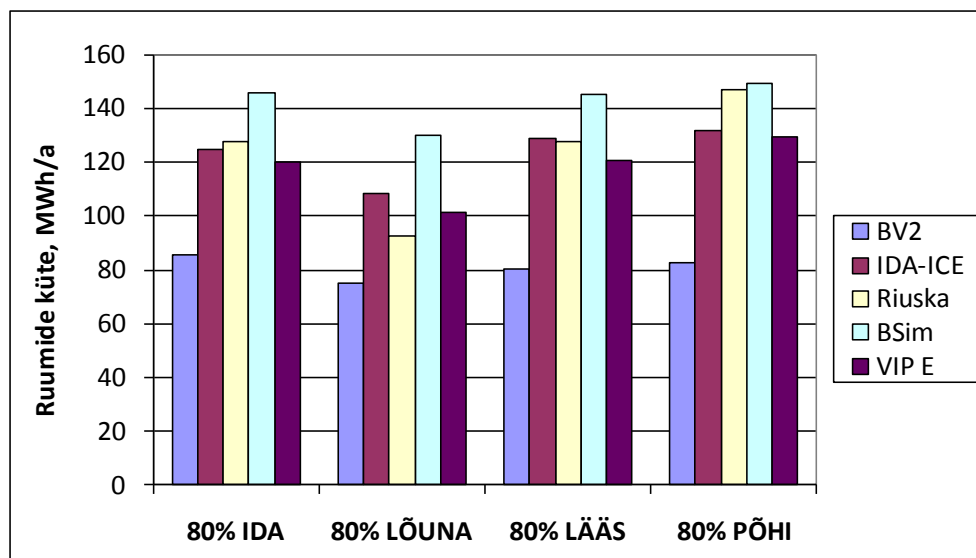
Alljärgnevalt on uuritud suure klaaspinnaga fassaadi ilmakaarte suhtes pööramise mõju hoone ruumide kütte ja jahutuse ning ventilatsiooniõhu kütte ja jahutuse energiavajadusele.

3.10.2. Orientatsiooni mõju arvutuste tulemused ja järeldused

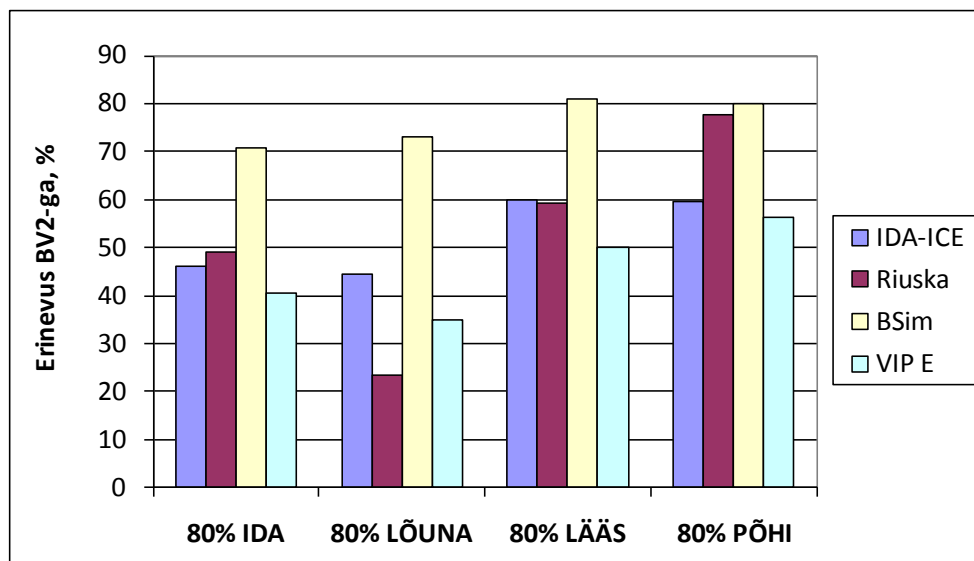
Simulatsioonide tulemused on toodud alljärgnevates tablitest ja joonistel.

Tabel 60 Ruumide küte (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

Absoluutväärtusena, MWh/a					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
80% IDA	86	125	128	146	120
80% LÕUNA	75	109	93	130	101
80% LÄÄS	80	129	128	145	121
80% PÕHI	83	132	147	149	129
Erinevus BV2-est, %					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
80% IDA	0	46	49	71	40
80% LÕUNA	0	44	23	73	35
80% LÄÄS	0	60	59	81	50
80% PÕHI	0	60	78	80	56



Joonis 45 Energiakulu ruumide kütteks.



Joonis 46 Energiakulu ruumide kütteks võrreldes BV2-ega.

Tabel 61 Ruumide kütteenergia vajaduse muutus võrreldes variandiga, kui suure klaaspinnaga fassaad on lõuna suunas.

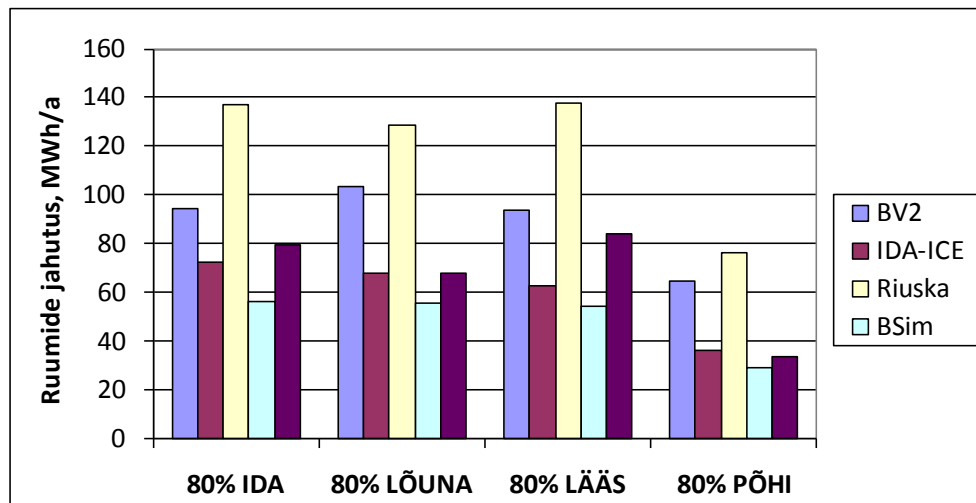
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	75	109	93	130	101
PÕHI	83	132	147	149	129
PÕHI-LÕUNA	8	23	54	19	28
PÕHI/LÕUNA	1,10	1,21	1,59	1,15	1,27
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,10	1,44	1,04	1,16
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	75	109	93	130	101
IDA	86	125	128	146	120
IDA-LÕUNA	10	16	35	16	19
IDA/LÕUNA	1,14	1,15	1,38	1,12	1,18
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,01	1,21	0,99	1,04
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	75	109	93	130	101
LÄÄS	80	129	128	145	121
LÄÄS-LÕUNA	5	20	35	15	19
LÄÄS/LÕUNA	1,07	1,18	1,38	1,12	1,19
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,11	1,29	1,05	1,11

Suure klaaspinnaga fassaadi pööramise mõju ruumide kütteenergiale:

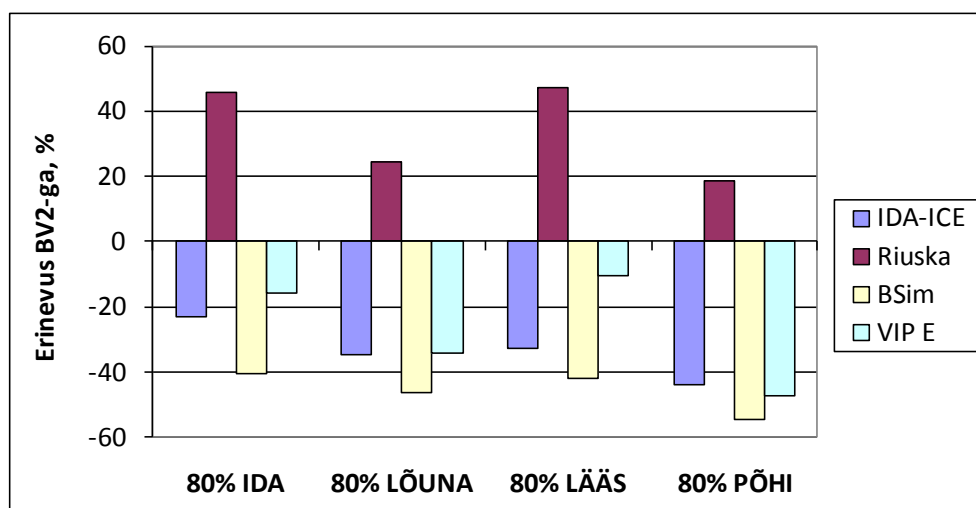
- Kõige suurem kütteenergia tarve on BV2 tulemustes variant, kui suure klaaspinnaga fassaad on ida suunas;
- Kõikide variantide puhul on ruumide kütteenergia vajadus kõige madalam just BV2 korral;
- Tulemuste kõikumised BV2 suhtes on suured (23-81%). Kõige lähedasemad tulemused BV2-ale annab VIP Energy (erinevused olenevalt ilmakaarest 35-56%);
- Hoone kütteenergia vajaduse muutus olenevalt suure klaaspinnaga fassaadi paiknemisest on kõige väiksem just BV2 puhul;
- Riuska, BSim ja VIP Energy puhul suure klaasfassaadi asetsemine ida või lääne suunas, ruumide kütteenergiavajadust praktiliselt ei muuda. IDA-ICE korral on ruumide kütteenergia tarve suurem läände suunatud klaasfassaadi korral, BV2 korral itta suunatud klaasfassaadiga;
- IDA-ICE, BSim ja VIP Energy tulemuste muutus absoluutväärtusena ja suhtena lõunasse on suhteliselt sarnane. Riuska tulemused muutuvad suure klaasfassaadi pööramisel nii absoluutväärtusena, kui suhtena lõunasse kõige enam.

Tabel 62 Ruumide jahutus (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

Absoluutväärtusena, MWh/a					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
80% IDA	94	72	137	56	79
80% LÕUNA	103	68	128	56	68
80% LÄÄS	94	63	138	54	84
80% PÕHI	64	36	76	29	34
Erinevus BV2-est,%					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
80% IDA	0	-23	46	-40	-16
80% LÕUNA	0	-34	24	-46	-34
80% LÄÄS	0	-33	47	-42	-10
80% PÕHI	0	-44	19	-55	-48



Joonis 47 Ruumide jahutus.



Joonis 48 Ruumide jahutus võrreldes BV2-ga.

Tabel 63 Ruumide jahutusenergia vajaduse muutus võrreldes variandiga, kui suure klaaspinnaga fassaad on lõuna suunas.

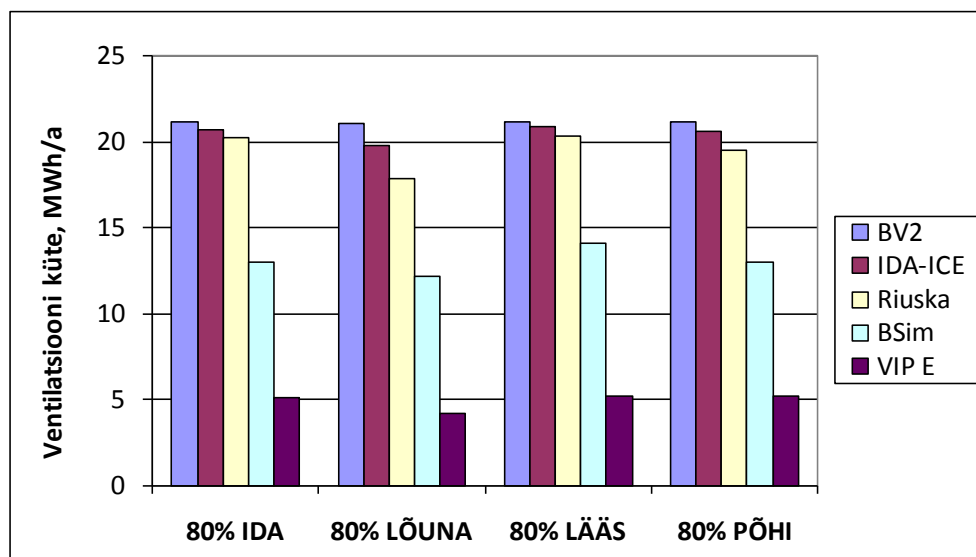
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	103	68	128	56	68
PÕHI	64	36	76	29	34
PÕHI-LÕUNA	-39	-32	-52	-26	-34
PÕHI/LÕUNA	0,62	0,53	0,59	0,53	0,50
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,86	0,95	0,84	0,80
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	103	68	128	56	68
IDA	94	72	137	56	79
IDA-LÕUNA	-9	5	9	1	11
IDA/LÕUNA	0,91	1,07	1,07	1,01	1,16
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,17	1,17	1,11	1,28
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	103	68	128	56	68
LÄÄS	94	63	138	54	84
LÄÄS-LÕUNA	-10	-5	9	-1	16
LÄÄS/LÕUNA	0,91	0,93	1,07	0,97	1,23
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,02	1,18	1,08	1,36

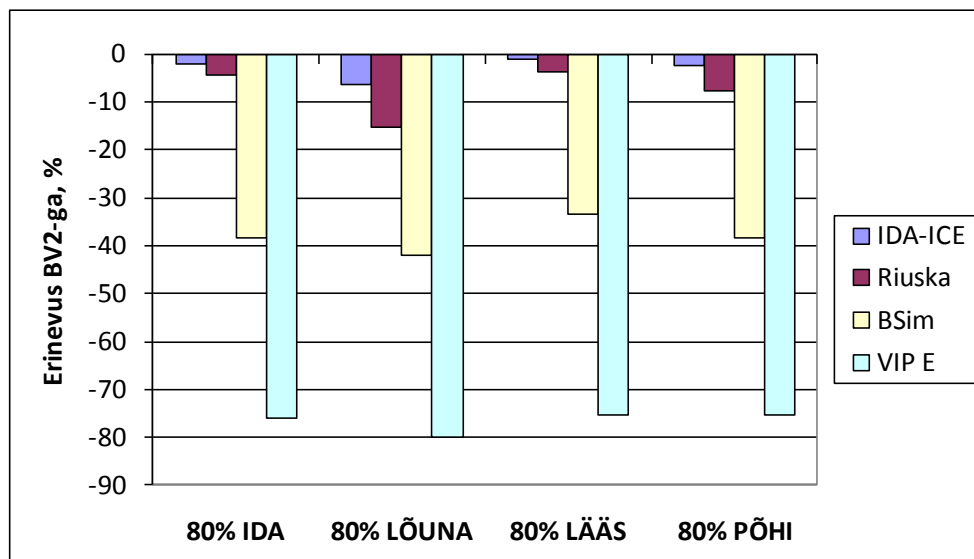
Suure klaaspinnaga fassaadi pööramise mõju jahutusenergiale:

- BV2, Riuska ja BSim tulemustes on nii ida kui lääne suunal asuva suure klaasfassaadi korral jahutusenergia vajadus sama suur. IDA-ICE on suurem jahutuseenergiavajadus idasuunal, VIP Energy läänesuunal asuva klaasfassaadiga;
- BV2 tulemused on suuremad, kui enamusel teistel programmidel (va Riuska);
- Riuska tulemustes on kõige suurem ruumide jahutusenergia vajadus ida ja lääne suunal oleva suure klaasfassaadi puhul. IDA-ICE korral on suurim jahutuseenergiavajadus idasuunal paikneva klaasfassaadiga;
- BSim tulemustes erinevad märgatavalt ainult põhja ja lõunasuuna tulemused. Ida, lääne ja lõunasuunda keeratud klaasfassaadi korral jahutusenergia vajadus ei muutu;
- Ruumide jahutusvajaduse tulemused, olenevalt suure klaasfassaadi asetsemisest, on kõik programmid väga erinevad. Ei saa välja tuua kahte programmi, mis annaksid ühesuguseid tulemusi absoluutväärtustes ja/või suhtelises muutuses lõunasuunda.

Tabel 64 Ventilatsiooni sissepuhkeõhu soojendamine (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

Absoluutväärtusena, MWh/a					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
80% IDA	21	21	20	13	5
80% LÕUNA	21	20	18	12	4
80% LÄÄS	21	21	20	14	5
80% PÕHI	21	21	20	13	5
Erinevus BV2-est,%					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
80% IDA	0	-2	-4	-38	-76
80% LÕUNA	0	-6	-15	-42	-80
80% LÄÄS	0	-1	-4	-33	-75
80% PÕHI	0	-2	-8	-38	-75

**Joonis 49** Energiakulu ventilatsiooni sissepuhkeõhu soojendamiseks.



Joonis 50 Energiakulu ventilatsiooni sissepuhkeõhu soojendamiseks võrreldes BV2-ga.

Tabel 65 Ventilatsiooni sissepuhkeõhu soojendamise vajaduse muutus võrreldes variandiga, kui suure klaaspinnaga fassaad on lõuna suunas.

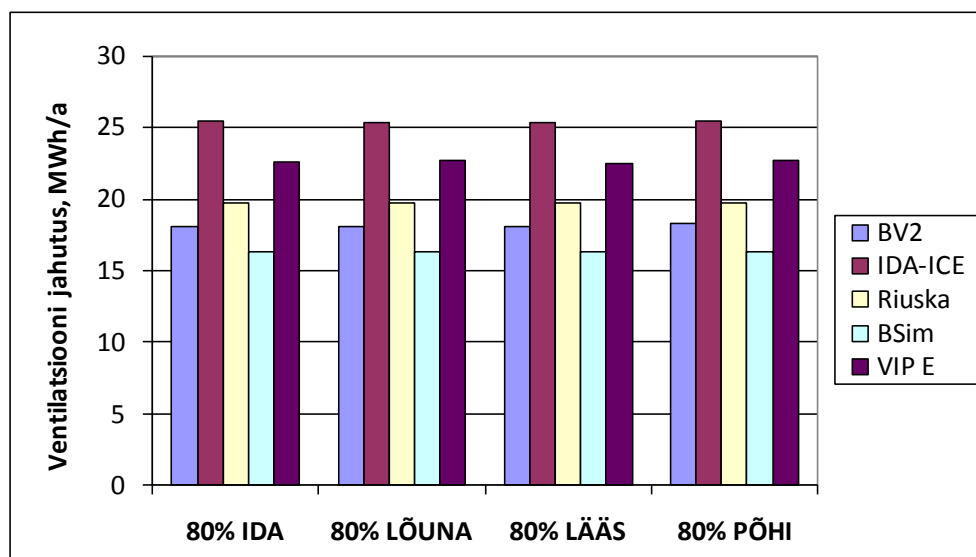
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	21	20	18	12	4
PÕHI	21	21	20	13	5
PÕHI-LÕUNA	0	1	2	1	1
PÕHI/LÕUNA	1,00	1,05	1,10	1,07	1,24
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,04	1,09	1,06	1,23
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	21	20	18	12	4
IDA	21	21	20	13	5
IDA-LÕUNA	0	1	2	1	1
IDA/LÕUNA	1,00	1,05	1,13	1,07	1,21
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,04	1,13	1,06	1,21
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	21	20	18	12	4
LÄÄS	21	21	20	14	5
LÄÄS-LÕUNA	0	1	3	2	1
LÄÄS/LÕUNA	1,00	1,06	1,14	1,16	1,24
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,05	1,14	1,15	1,23

Suure klaaspinnaga fassaadi pööramise mõju ventilatsiooni sissepuhkeõhu soojendamisele:

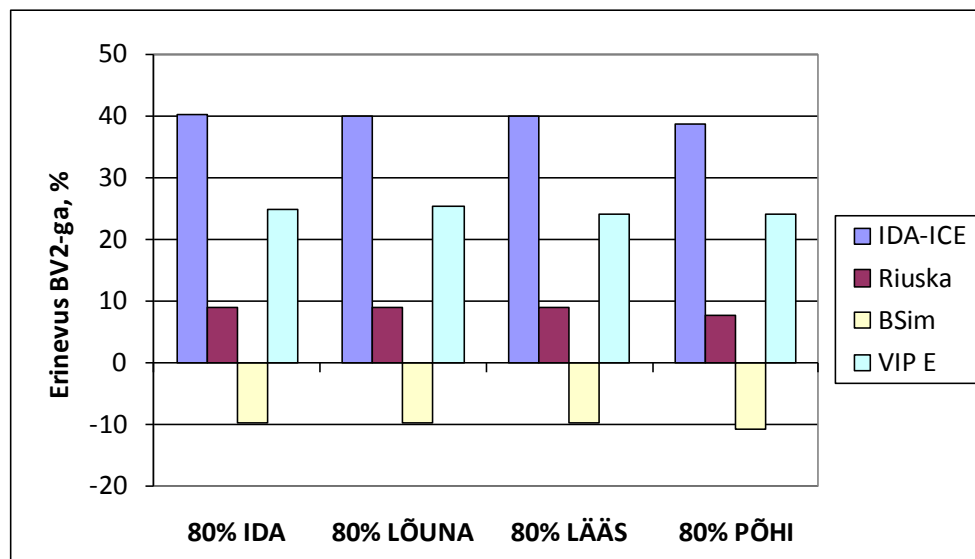
- Üldiselt klaaspindade asetus ilmakaarte suhtes ventilatsiooniõhu soojendamiseks vajaminevat energiat ei mõjuta. BV2 puhul on iga ilmakaare korral tulemus täpselt sama. IDA, Riuska ja VIP Energy korral olid tulemused samad põhja, ida ja lääne suunal, lõuna suunal asetseva suure klaasfassaadi korral energiatarve vähenes 1 MWh võrra. BSim tulemused on samad ida ja põhja suunas, lõuna ja lääne suunal on erinevus 2 MWh/a;
- BV2, IDA-ICE ja Riuska tulemused ventilatsiooniõhu soojendamiseks on suhteliselt sarnased. (kõige suurem erinevus lõunasuunal 15%). BSim ja VIP Energy tulemused on märgatavalt väiksemad ja see tuleneb asjaolust, et need programmid ei võimalda arvestada soojustagastuse jäätumist vastase temperatuuriga.

Tabel 66 Ventilats. sissepuhkeõhu jahutamine (üleval absoluutväärt., all suhtel. erinev BV2-est).

Absoluutväärtusena, MWh/a					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
80% IDA	18	25	20	16	23
80% LÕUNA	18	25	20	16	23
80% LÄÄS	18	25	20	16	22
80% PÕHI	18	25	20	16	23
Erinevus BV2-est, %					
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
80% IDA	0	40	9	-10	25
80% LÕUNA	0	40	9	-10	25
80% LÄÄS	0	40	9	-10	24
80% PÕHI	0	39	8	-11	24



Joonis 51 Energiakulu ventilatsiooni sissepuhkeõhu jahutamiseks.



Joonis 52 Energiakulu ventilatsiooni sissepuhkeõhu jahutamiseks võrreldes BV2-ega.

Tabel 67 Ventilatsiooni sissepuhkeõhu jahutamise vajaduse muutus võrreldes variandiga, kui suure klaaspinnaga fassaad on lõuna suunas.

	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	18	25	20	16	23
PÕHI	18	25	20	16	23
PÕHI-LÕUNA	0	0	0	0	0
PÕHI/LÕUNA	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	18	25	20	16	23
IDA	18	25	20	16	23
IDA-LÕUNA	0	0	0	0	0
IDA/LÕUNA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP E
LÕUNA	18	25	20	16	23
LÄÄS	18	25	20	16	22
LÄÄS-LÕUNA	0	0	0	0	0
LÄÄS/LÕUNA	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
muutus _{prog} /muutus _{BV2}	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99

Suure klaaspinnaga fassaadi pööramise mõju ventilatsiooni sissepuhkeõhu jahutamisele:

- Klaaspindade asetus ilmakaarte suhtes ventilatsiooniõhu jahutamiseks vajaminevat energiat ühegi programmi korral ei mõjuta.
- BV2 tulemused on väiksemad, kui teistel programmidel (va BSim).
- Kõige rohkem sarnanevad BV2 tulemused BSim ja Riuskaga.

3.11 Lasteaed

Järgnevalt on teostatud lasteaia analüüs. Esmalt on esitatud lähteandmed, edasi tulemused ja järeldused.

3.11.1 Lasteaia arvutuste lähteandmed

Järgnevalt on kirjeldatud lasteaia arvutustes kasutatud lähteandmeid. Arvutuste aluseks on võetud ühekordne hoone orientatsiooniga põhja-lõuna suunal (suurem fassaad ida ja lääne suunal). Simulatsioonid järgmiste tarkvaradega:

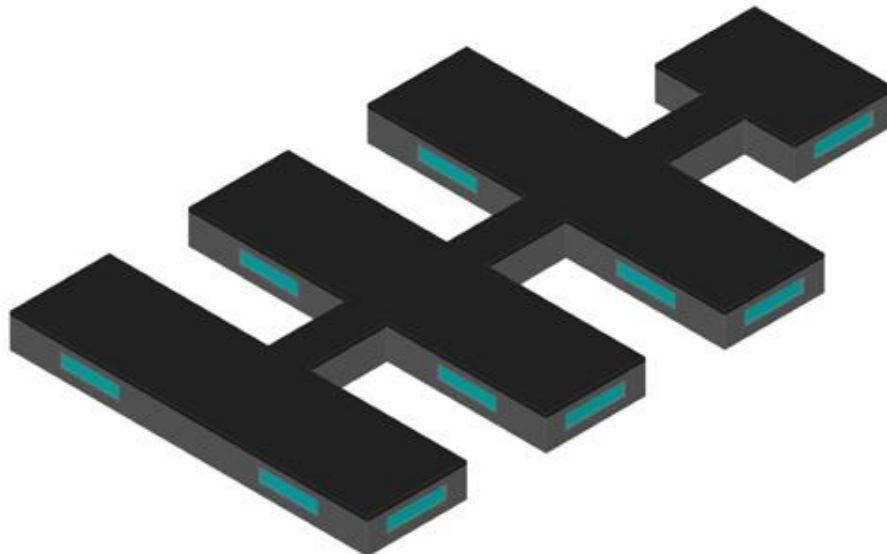
- BV2 3 (arvutuse teostas 3 eri inimest);
- IDA 2 eri inimest;
- Riuska 3 eri inimest;
- VIP+ 2 eri inimest;
- BSim 1 inimene.

Arvutustes kasutatud klaasfassaadi osakaal eri orientatsioonide kohta:

- Klaasfassaadi osakaal ida fassadist 17,8% (akna raami osakaal 10%);
- Klaasfassaadi osakaal lõuna fassadist 17,5% (akna raami osakaal 10%);
- Klaasfassaadi osakaal lääne fassadist 15,2% (akna raami osakaal 10%);
- Klaasfassaadi osakaal põhja fassadist 17,5% (akna raami osakaal 10%).

Arvutus on teostatud kindla aknaklaasi päikeseläbivus teguri $g = 0,45$ väärtustega. Samuti on hoone arvutused teostatud vaid raske konstruktsioonist ehitisele.

Järgnevalt on esitatud illustreeriv joonis arvutustes kasutatud lasteaia kohta.



Joonis 53 Lasteaia hoone.



Järgnevalt on esitatud täpsed lähteandmed arvutustes kasutatud lasteaia kohta.

Tabel 68 lasteaia arvutuste lähteandmed.

Hoone temperatuurid:

Madalaim lubatud ruumiõhu temperatuur	18 °C
Kõrgeim lubatud ruumiõhu temperatuur	25 °C

Ventilatsioon:

Sissepuhkeõhu temperatuur	18°C
Ventilatsiooni soojustagasti temperatuuri suhtarv	70%
Ventilatsiooni tööaeg	Ventilatsioon töötab 1 tund enne ja peale ruumi kasutusaega ehk kella 06:00 – 20:00; 5 päeva nädalas tööpäevadel. Ülejäänud ajal ventilaatorid seisavad.
Ventilatsiooni õhuvooluhulgad	3 l/s*m ² (3532 l/s)

Vabasoojused (arvutustes on kasutatud keskmise vabasoojuse kasutusastet).

Kasutusaeg	07:00-19:00; 5 päeva nädalas
Keskmine kasutusaste	0,4
Valgustus	18 W/m ²
Seadmed	12 W/m ²
Inimesed	35 W/m ²
Pind mille alusel vabasoojused määratakse	hoone köetav pind

U-arvud:

Välissein	0,17 W/K*m ²
Katuslagi	0,12 W/K*m ²
Põrand pinnasel (Maapinna temperatuur on +7°C, 1 m pinnast põranda konstruktsiooni all).	0,10 W/K*m ²
Aken (kaalutud keskmine koos raamiga)	1,20 W/K*m ²

Hoone üldandmed:

Sisepindala	1177,4 m ²
Infiltratsioon	0,066 l/s, m ² (77,3 l/s)

Külmasillad:

Välissein- põrand	0,09 W/K*m
Välissein- katuslagi	0,07 W/K*m
Akna perimeeter	0,07 W/K*m

3.11.2 Lasteaia arvutuste tulemused ja järeldused

Simulatsioonide tulemused on toodud alljärgnevates tablitest ja joonistel.

Tabel 69 Ruumide küte (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

Absoluutväärtusena, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
27	48	31	38	32
Erinevus BV2-st,%				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
0	77	14	40	18

Tabel 70 Ruumide jahutus (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

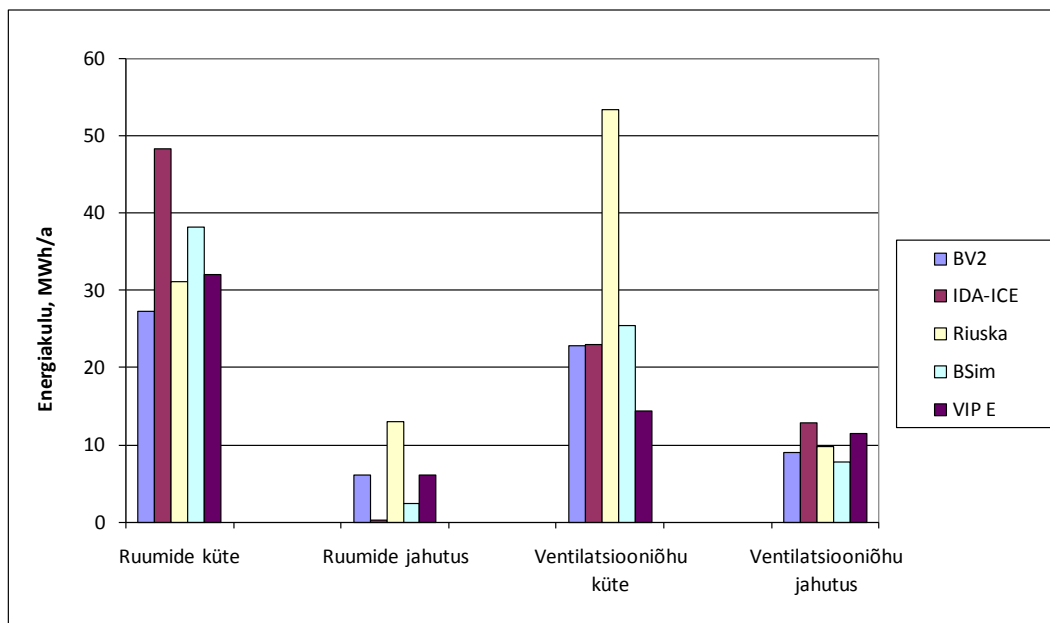
Absoluutväärtusena, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
6	0	13	2	6
Erinevus BV2-st,%				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
0	-96	115	-60	0

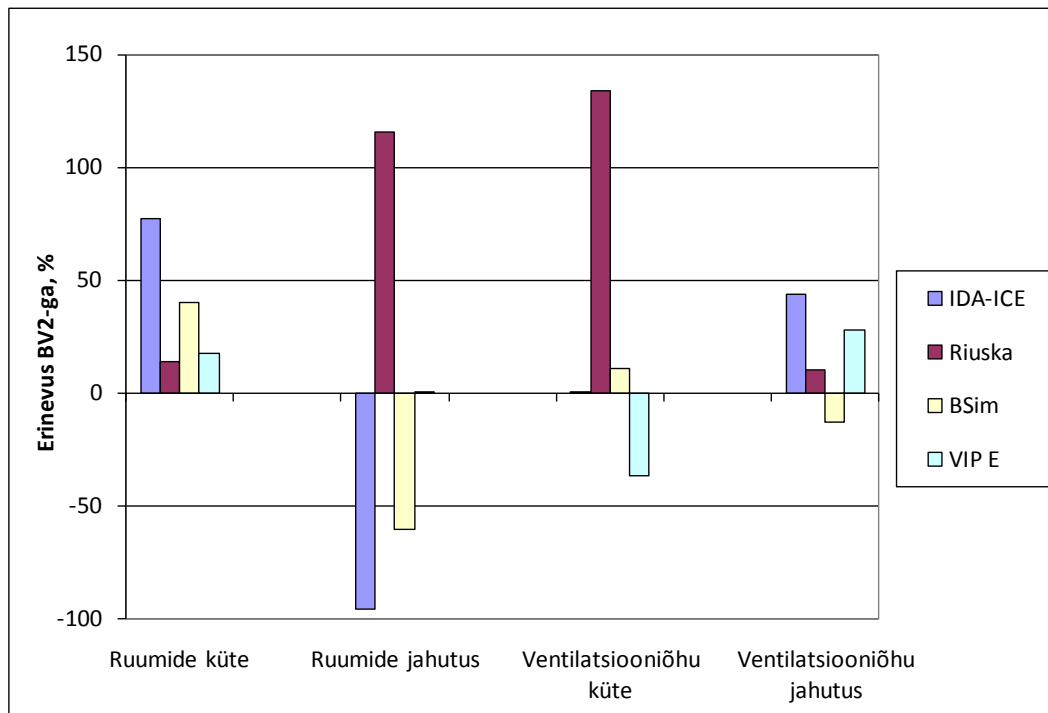
Tabel 71 Ventilatsiooniõhu küte (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

Absoluutväärtusena, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
23	23	53	25	14
Erinevus BV2-st,%				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
0	1	134	11	-37

Tabel 72 Ventilatsiooniõhu jahutus (üleval absoluutväärtus, all suhteline erinevus BV2-est).

Absoluutväärtusena, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
9	13	10	8	11
Erinevus BV2-st,%				
BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP+
0	44	10	-13	28

**Joonis 55** Energia kulu.



Joonis 56 Energiakulu erinevused võrreldes BV2-ega.

Lasteaia simulatsioonide tulemuste põhjal võib teha järeltada, et:

- Ruumide kütte:
 - Eriprogrammide tulemused kõiguvad BV2 suhtes kuni 77%;
 - BV2 tulemus on jällegi kõige väiksem. Vahe järgmise programmiga (Riuska) on 14%;
 - Riuska ja VIP Energy andsid sarnase tulemuse, erinedes alla 5%. Bsim ja IDA-ICE tulemused on suuremad ja BV2-el väiksem.
- Ruumide jahutus:
 - BV2 tulemused on samad, mis VIP Energy. BSim ja IDA-ICE tulemused näitavad minimaalset jahutusvajadust (kuni 2 MWh/a), seevastu Riuska ruumide jahutusenergiatarve on 13 MWh/a;
 - Riuska (suurem, kui BV2) ja IDA-ICE (väiksem, kui BV2) tulemused erinevad BV2-st 100-115%;
 - Kuna absoluutväärtuselt on ruumide energiatarve jahutuseks suhteliselt väike, siis on ka erinevused protsentides BV2-est suhteliselt suured.
- Ventilatsiooniõhu soojendamine:
 - BV2 ja IDA-ICE andsid sama tulemuse (erinevus 1%). Ka BSim tulemused olid suhteliselt lähedased (erinevus 11%);
 - Kõige rohkem erineb ventilatsiooniõhu soojendamise tulemusetes jällegi BV2-est Riuska (134% suurem).
- Ventilatsiooniõhu jahutus:
 - Ventilatsiooniõhu jahutuse tulemused kõige ühtlasemad, erinedes võrreldes BV2-ga kuni 44% (IDA-ICE);
 - Riuska ja BSim tulemused on kõige lähedasemad BV2-le, erinedes 10-13%.

3.12 Ventilatsiooni analüüs

Eelnevatest võrdlustes oli suhteliselt suur erinevus ventilatsiooniõhu soojendamise ja jahutamise energiavajadustes. Seetõttu analüüsiti põhjalikumalt ventilatsiooniõhu soojendamise/jahutamisega seonduvat.

3.12.1 Lähteandmed

Ventilatsiooniõhu soojendamise/jahutamise energia tarbimist mõjutavad põhiliselt:

- Sissepuhkeõhu parameetrid pärast jahutus/kütte patareid - mida madalam on õhu temperatuur pärast patareid, seda vähem kulub kütteenergiat ja rohkem jahutusenergiat;
- Soojustagasti temperatuuri suhtarv – mida kõrgem on temperatuuri suhtarv, seda vähem kulub soojus/jahutusenergiat;
- Õhuvooluhulk ja ventilatsiooni tööprofiil;
- Ruumiõhu temperatuur - mida madalam on ruumiõhu temperatuur, seda enam kulub soojusenergiat ja vähem jahutusenergiat;
- Ventilatsiooni töötamise aegsed väliskliima parameetrid;
- Soojustagasti jäätumisvastane kaitse. Vastavalt määrusele ei tohi heitõhu temperatuur pärast tagastit olla teatud väärtustest madalam.

Erinevate tegurite mõju hindamiseks teostati kontrollarvutusi spordihoone mudeli baasil.

3.12.2. Ruumiõhu temperatuuri mõju

Määruse kohaselt tuleb arvutustes lähtuda reaalsest ruumiõhu temperatuurist ja etteantud ruumiõhu temperatuurid võivad kõikuda küllaltki suurtes piirides, näiteks spordihoone korral 18...25 °C. Seetõttu võivad sõltuvalt konkreetse tarkvara iseärasustest samal ajahetkel olla erinevad siseõhu temperatuurid ja see võib mõjutada ventilatsiooniõhu töötlemiseks vajaminevat energiat. Elimineerimaks ruumiõhu temperatuuri olulist mõju energiavajadustele, teostati järgmised modelleerimised:

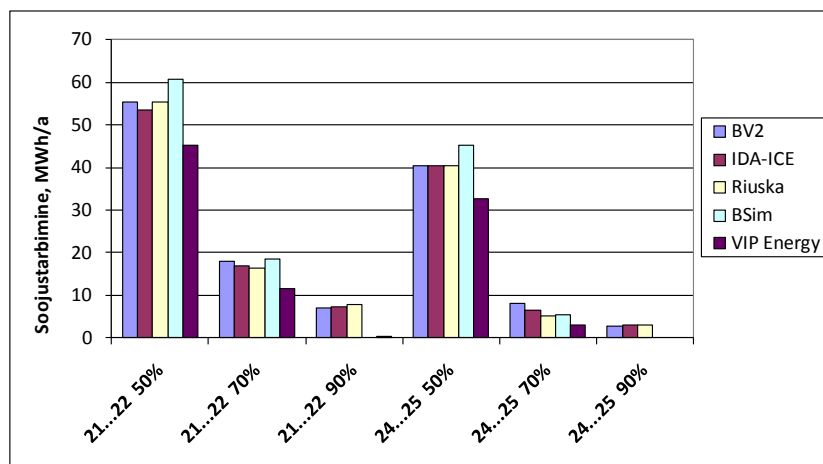
- Spordihoone vastavate kasutusprofiilidega ja standardkasutusega, ruumiõhu temperatuur 21...22 °C, soojustagasti temperatuuri suhtarv 50, 70 ja 90%. Heitõhu minimaalne temperatuur pärast tagastit 0 °C;
- Spordihoone vastavate kasutusprofiilidega ja standardkasutustega, ruumiõhu temperatuur 24...25 °C, soojustagasti temperatuuri suhtarv 50, 70 ja 90%. Heitõhu minimaalne temperatuur pärast tagastit 0 °C.

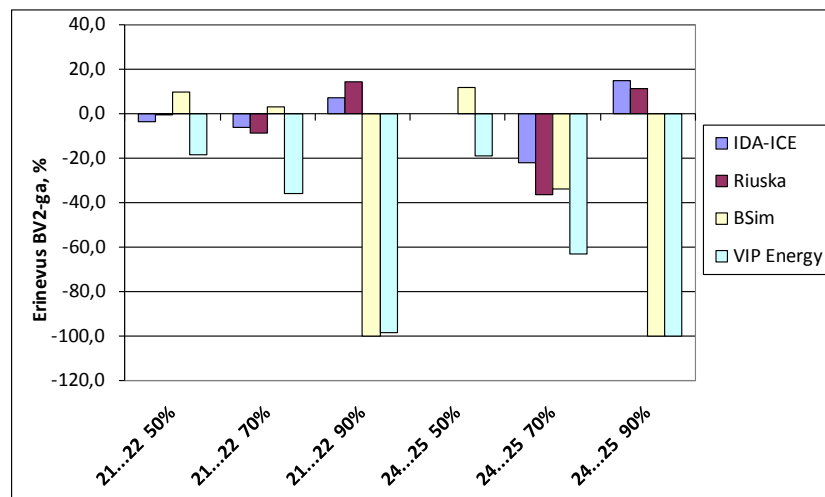
Tulemused on toodud alljärgnevates tabelites ja joonistel.

Tabel 73 Ventilatsiooni soojusenergiatarbimised sõltuvalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja ruumiõhu temperatuurist.

Ventilatsiooni küte, MWh/a						
Ruumi temperatuur	Soojustagasti suhtarv, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
21...22	50	55,5	53,5	55,3	60,8	45,2
	70	18	16,9	16,4	18,5	11,5
	90	6,9	7,4	7,9	0	0,1
24...25	50	40,4	40,4	40,4	45,2	32,7
	70	8,2	6,4	5,2	5,4	3
	90	2,7	3,1	3	0	0

Erinevus BV2-ga, %						
Ruumi temperatuur	Soojustagasti suhtarv, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
21...22	50	0,0	-3,6	-0,4	9,5	-18,6
	70	0,0	-6,1	-8,9	2,8	-36,1
	90	0,0	7,2	14,5	-100,0	-98,6
24...25	50	0,0	0,0	0,0	11,9	-19,1
	70	0,0	-22,0	-36,6	-34,1	-63,4
	90	0,0	14,8	11,1	-100,0	-100,0



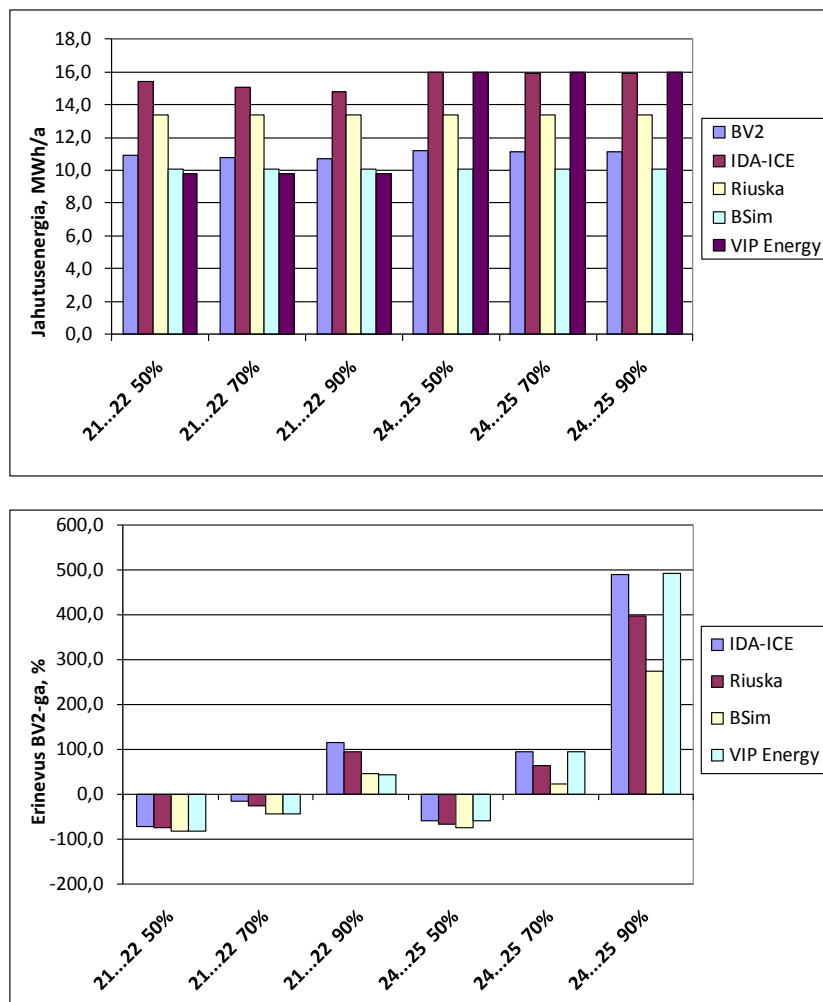


Joonis 57 Ventilatsiooniõhu soojendamise.

Tabel 74 Ventilatsiooni jahutusenergiatarbimised sõltuvalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja ruumiõhu temperatuurist.

Ventilatsiooni jahutus, MWh/a						
Ruumi temperatuur	Soojustagasti suhtarv, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
21...22	50	10,9	15,4	13,4	10,1	9,8
	70	10,8	15,1	13,4	10,1	9,8
	90	10,7	14,8	13,4	10,1	9,8
24...25	50	11,2	16,0	13,4	10,1	16,0
	70	11,1	15,9	13,4	10,1	16,0
	90	11,1	15,9	13,4	10,1	16,0

Erinevus BV2-ga, %						
Ruumi temperatuur	Soojustagasti suhtarv, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
21...22	50	0,0	-72,3	-75,9	-81,8	-82,3
	70	0,0	-16,1	-25,6	-43,9	-45,6
	90	0,0	114,5	94,2	46,4	42,0
24...25	50	0,0	-60,4	-66,8	-75,0	-60,4
	70	0,0	93,9	63,4	23,2	95,1
	90	0,0	488,9	396,3	274,1	492,6



Joonis 58 Ventilatsiooniõhu jahutus.

Antud simulatsioonide põhjal võib teha järgmised üldistused:

- VIP Energy ja BSim ei võta arvesse soojustagasti külmumist välistavat heitõhu temperatuuri, mistõttu tagasti kõrgemate temperatuuri suhtarvude korral on soojusenergia tarbimine oluliselt väiksem st need programmidega ei ole võimalik adekvaatselt arvutada ventilatsiooni soojus/jahutusenergiat ja neid ei saa kasutada ventilatsiooni soojus/jahutusenergia osas BV2 sobilikkuse hindamisel. Seetõttu saab soojustagstusega ventilatsiooni korral võrrelda BV2 ainult IDA-ICE ja Riuskaga.
- Vaatamata ruumiõhu temperatuuri suhtelisele stabiilsusele erinesid ventilatsiooni soojuse ja jahutuse energiad erinevate arvutusprogrammide lõikes:
 - Soojus:
 - soojus kuni 2...3 MWh ulatuses. Madalate temperatuuri suhtarvude juures oli suhteline erinevus mõned protsendi. Kuna temperatuuri suhtarvu kasvades väheneb oluliselt soojustarbimise absoluutarv, siis suhteline erinevus kasvas kuni 37 %;

- Võrreldes Riiska ja IDA-ICE'ga oli tagasti temperatuuri suhtarvu 50% juures BV2 näitajad samas suurusjärgus, suhtarvu 70% juures oli BV2 tarbimine suurem, aga 90% juures väiksem;
- Kõrgema ruumiõhu temperatuuri juures oli temperatuuri suhtarvu 70 % korral BV2 erinevus suurem kui madalamate temperatuuride korral.
- Jahutus:
 - Riiska ja BSim ei võta arvesse jahutuse soojustagastust. VIP Energy on soojustagastuse mõju sõltuvalt ruumiõhu temperatuurist ebareaalselt suur;
 - Küllaltki lähedased olid BV2 tulemused BSim'i omadega – maksimaalne suhteline erinevus + 9,6 % st BV2 annab võrreldes BSim'ga kuni 9,6% suurema tulemuse;
 - Võrreldes IDA-ICE'ga andis BV2 ca 40 % väiksema tulemuse ja võrreldes Riuskaga kuni 25 % tulemuse

3.12.3 Õhuvooluhulkade mõju

Hindamaks õhuvooluhulkade mõju teostati eelnevalt kirjeldatud samade tingimuste korral uued kontrollarvutused kusjuures ainukeseks erinevuseks oli ventilatsiooni õhuvooluhulk, mis oli 2 korda suurem ($4,5 \text{ m}^3/\text{s}$).

Arvutustulemustest võis teha järgmise üldistuse:

- Nii jahutuse kui soojuse energiatarbed suurenesid BV2 kui ka teiste programmide energiatarbimised proportsionaalselt õhuvooluhulga kasvuga (erinevus mõni protsent).

3.12.4 Sissepuhkeõhu temperatuuri mõju

Kontrollimaks sissepuhkeõhu temperatuuri mõju ventilatsiooni soojus/jahutusenergia tarbele teostati simulatsioonid järgmistel tingimustel:

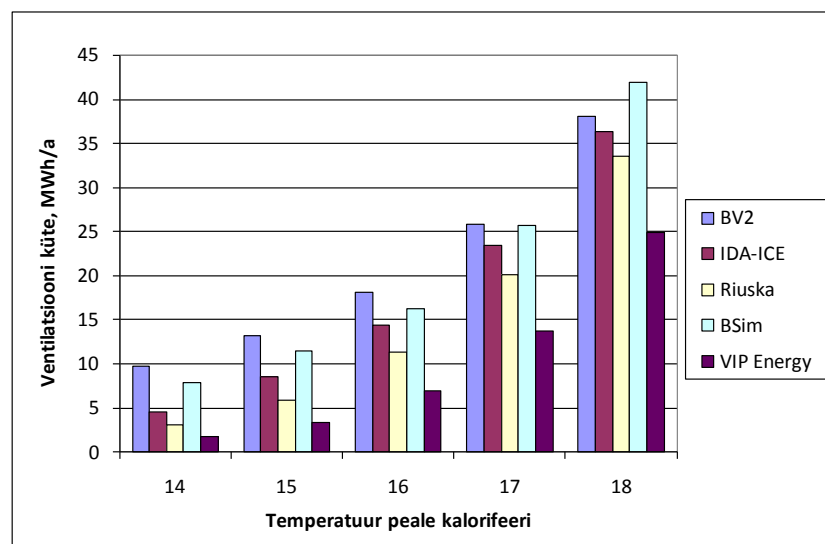
- Hoone tüüp spordihoone, kasutusprofiilid ja vabasoojused vastavalt määrusele;
- Õhuvooluhulk $5 \text{ m}^3/\text{s}$, 7 päeva nädalas, 7:00-23:00;
- Soojustagasti temperatuuri suhtarv 70%;
- Ruumiõhu temperatuur $24...25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Sissepuhkeõhu temperatuur pärast tagastit 14, 15, 16, 17 ja $18 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Heitõhu minimaalne temperatuur pärast tagastit $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

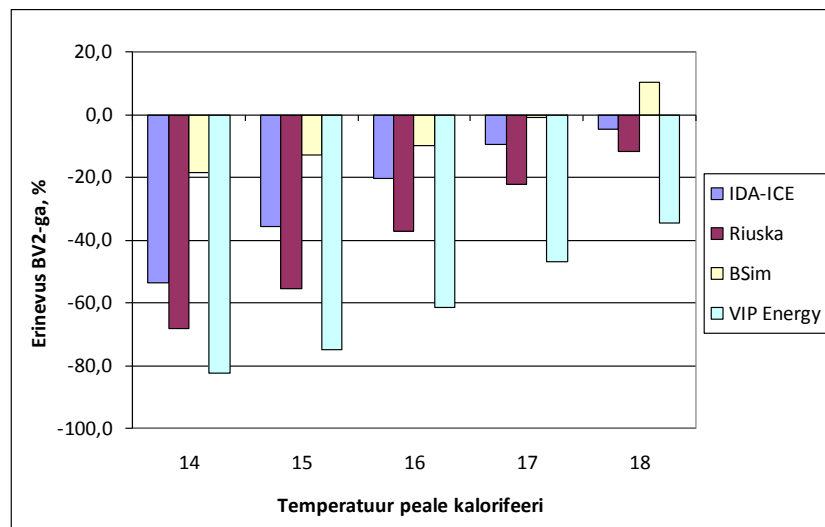
Tulemused on toodud alljärgnevas tabelis ja joonistel.

Tabel 75 Sissepuhke õhu temperatuuri pärast kalorifeeri mõju ventilatsiooni energiatarbimistele.

Ventilatsiooni küte, MWh/a					
Temp. pärast patareid, °C	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
14	9,7	4,5	3,1	7,9	1,7
15	13,2	8,5	5,9	11,5	3,3
16	18,1	14,4	11,4	16,3	7
17	25,9	23,4	20,1	25,7	13,8
18	38,1	36,4	33,6	42	24,9

Erinevus BV2-ga, %					
Temp. pärast patareid, °C	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
14	0	-53,6	-68,0	-18,6	-82,5
15	0	-35,6	-55,3	-12,9	-75,0
16	0	-20,4	-37,0	-9,9	-61,3
17	0	-9,7	-22,4	-0,8	-46,7
18	0	-4,5	-11,8	10,2	-34,6



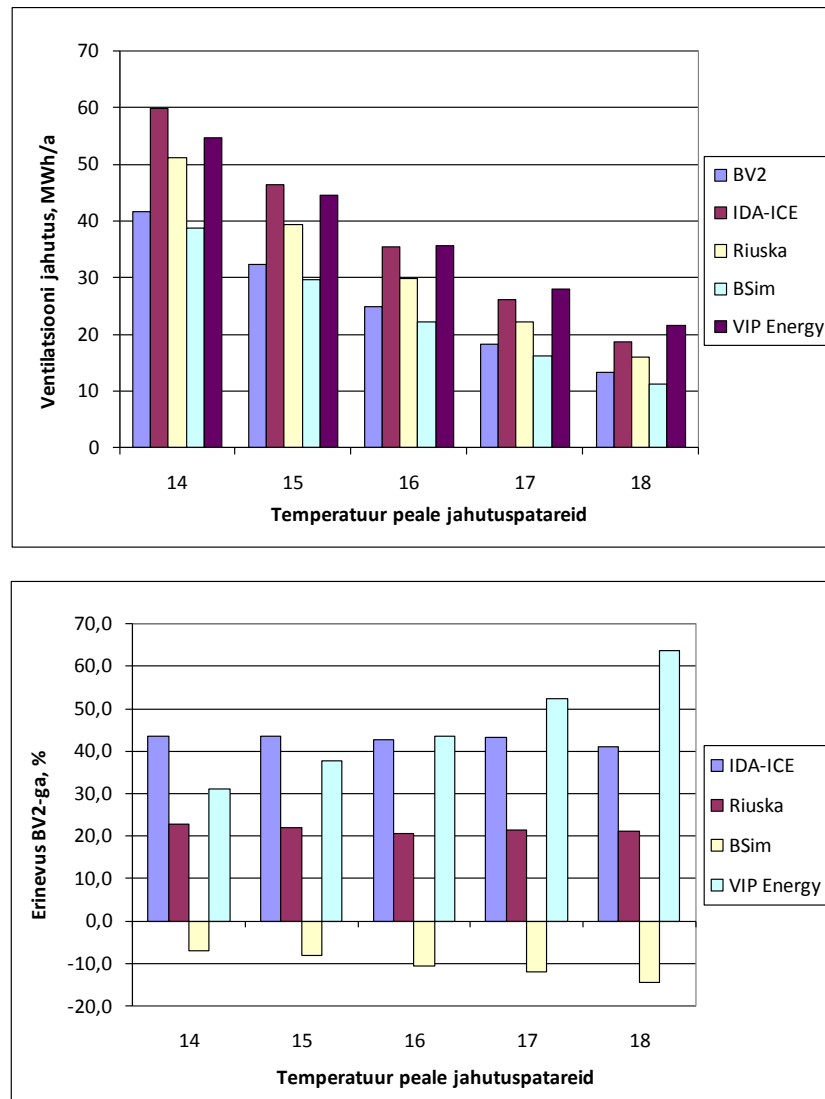


Joonis 59 Sissepuhke õhu temperatuuri pärast jahutus/küttepateid mõju ventilatsiooni energiatarbimistele.

Tabel 76 Sissepuhke õhu temperatuuri pärast jahutuspatateid mõju ventilatsiooni energiatarbimistele.

Ventilatsiooni jahutus, MWh/a					
Temp. pärast patateid, °C	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSIm	VIP Energy
14	41,7	59,8	51,2	38,8	54,7
15	32,3	46,4	39,4	29,7	44,5
16	24,8	35,4	29,9	22,2	35,6
17	18,3	26,2	22,2	16,1	27,9
18	13,2	18,6	16	11,3	21,6

Erinevus BV2-ga, %					
Temp. pärast patateid, °C	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSIm	VIP Energy
14	0	43,4	22,8	-7,0	31,2
15	0	43,7	22,0	-8,0	37,8
16	0	42,7	20,6	-10,5	43,5
17	0	43,2	21,3	-12,0	52,5
18	0	40,9	21,2	-14,4	63,6



Joonis 60 Sissepuhke õhu temperatuuri pärast jahutuspatareid mõju ventilatsiooni energiatarbimistele.

3.12.5 Ventilatsiooni analüüsi järeldused

Antud simulatsioonide põhjal võib teha järgmised üldistused:

- Soojus
 - BV2 ventilatsiooni tarbimine oli suurem teiste programmide tulemustest;
 - VIP Energy tarbimised olid oluliselt suuremad ja on tõenäoliselt ebaadekvaatsemad;
 - Mida kõrgemaks läks sissepuhkeõhu temperatuur, seda väiksem oli suhteline erinevus BV2;
 - Jääb mulje, et BV2 lähtub tegelikust madalamast temperatuurist;
 - Eri programmide (va VIP Energy) tulemused on praktiliselt samad kui temperatuur pärast patareid ei erine üle 1 °C. Ilmselt käsitlevad eri programmid

erinevalt sissepuhkeõhu temperatuuri ja temperatuuri pärast jahutus/soojendust vahel ehk erinevused võivad olla tingitud sellest, et sissepuhkeõhu täiendav soojenemist (ventilaator, õhukanalid) võetakse arvesse erinevate lähenemisviisiga. BV2 suurem energiatarve vajab täiendavat analüüsi.

- Jahutus
 - BV2 ventilatsiooni jahutusenergia tarbimine oli üldjuhul madalam (va VIP Energy) tarbimistest. Selleks, et BV2 tulemused oleksid samased IDA-ICE ja Riuskaga, peaks BV2 temperatuur pärast jahutuspatareid olema 1... 2 °C kõrgem. See viitab asjaolule, et BV2 võib lähtuda millegi pärast kõrgemast temperatuurist pärast jahutus/soojenduspatareid;
 - BV2 ventilatsiooniõhu töötlemine vajab täiendavat analüüsi ja praegused tulemused ei pruugi olla kõige adekvaatsemad.

3.12.6. Väliskliima andmete mõju

Väliskliima andmete mõju uurimiseks teostati arvutused ilma soojustagstita, sellisel juhul on elimineeritud hoone dünaamilisest soojuslevist, ruumi tegelikest temperatuuridest ja soojustagastuse arvutusmetoodikatest tingitud iseärasused. Teostati järgmised simulatsioonid:

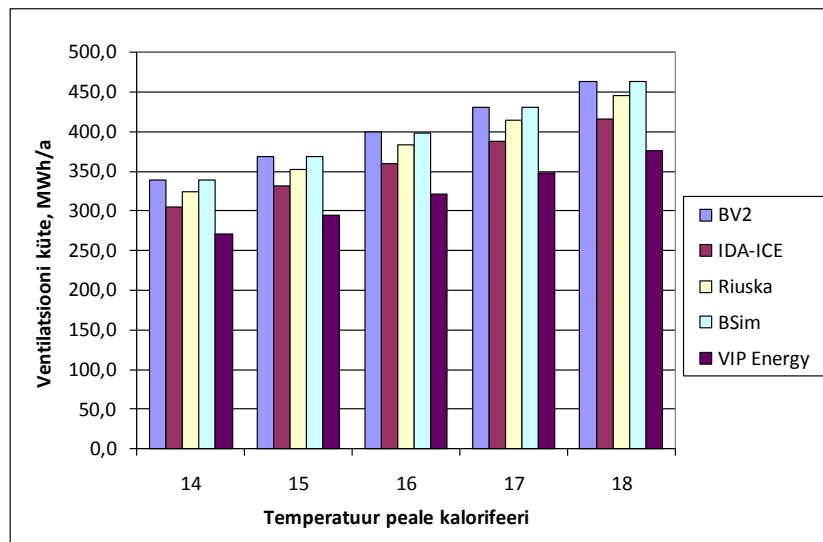
- **Ventilatsiooni tagastita spordihoone:**
 - Hoone tüüp spordihoone, kasutusprofiilid ja vabasoojused vastavalt määrusele;
 - Õhuvooluhulk 5 m³/s, 7 päeva nädalas, 7:00-23:00;
 - Soojustagasti temperatuuri suhtarv 0% (tagasti puudub);
 - Ruumiõhu temperatuur 24...25 °C;
 - Sissepuhkeõhu temperatuur pärast tagastit 14, 15, 16, 17 ja 18 °C.
- **Ventilatsiooni tagastita spordihoone ja ventilatsioon töötab ainult päeval ajal kella 12:00-18:00.**
 - Muud tingimused samad, mis eelmisel variandil, erineb ainult ventilatsiooni tööaeg, mis on 12:00-18:00.
- **Ventilatsiooni tagastita spordihoone ja ventilatsioon töötab ainult öisel ajal kella 00:00-06:00.**
 - Muud tingimused samad, mis eelmisel variandil, erineb ainult ventilatsiooni tööaeg, mis on 00:00-06:00.
- **Ventilatsiooni tagastita spordihoone ja ventilatsioon töötab 24 tundi ööpäevas ja 7 päeva nädalas.**
 - Muud tingimused samad, mis eelmisel variandil, erineb ainult ventilatsiooni tööaeg, mis on pidev ja sissepuhkeõhu temperatuur pärast tagastit oli 16 °C.

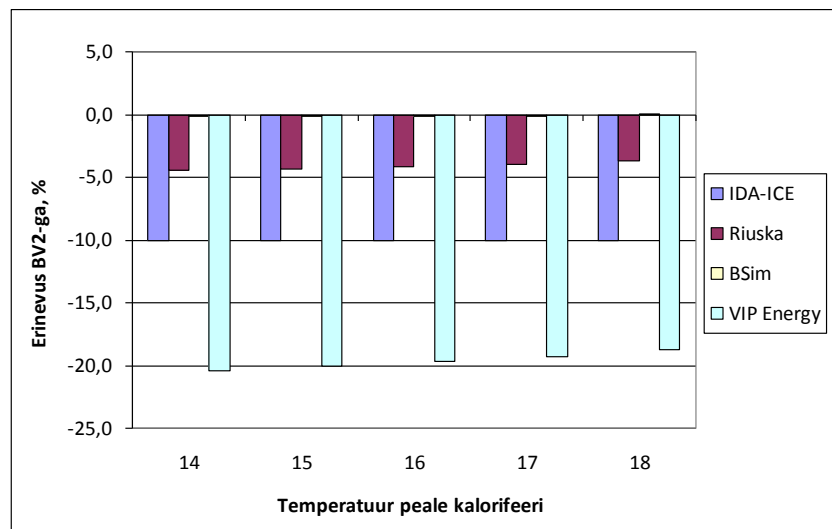
Simulatsioonide tulemused on toodud alljärgnevatel tabelitel ja joonistel

Tabel 77 Soojustagastita ventilatsiooniõhu töötlemise energiatarbimised sõltuvalt temperatuurist pärast kalorifeeri.

Ventilatsiooni küte, MWh/a					
Temp. pärast patareid, °C	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
14	339,7	305,7	324,6	339,1	270,5
15	369,0	331,9	353,0	368,4	294,9
16	399,2	359,1	382,8	398,9	320,7
17	430,7	387,3	413,7	430,5	347,7
18	462,9	416,4	445,7	463,2	376,0

Erinevus BV2-ga, %					
Temp. pärast patareid, °C	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
14	0,0	-10,0	-4,4	-0,2	-20,4
15	0,0	-10,1	-4,3	-0,2	-20,1
16	0,0	-10,0	-4,1	-0,1	-19,7
17	0,0	-10,1	-3,9	0,0	-19,3
18	0,0	-10,0	-3,7	0,1	-18,8



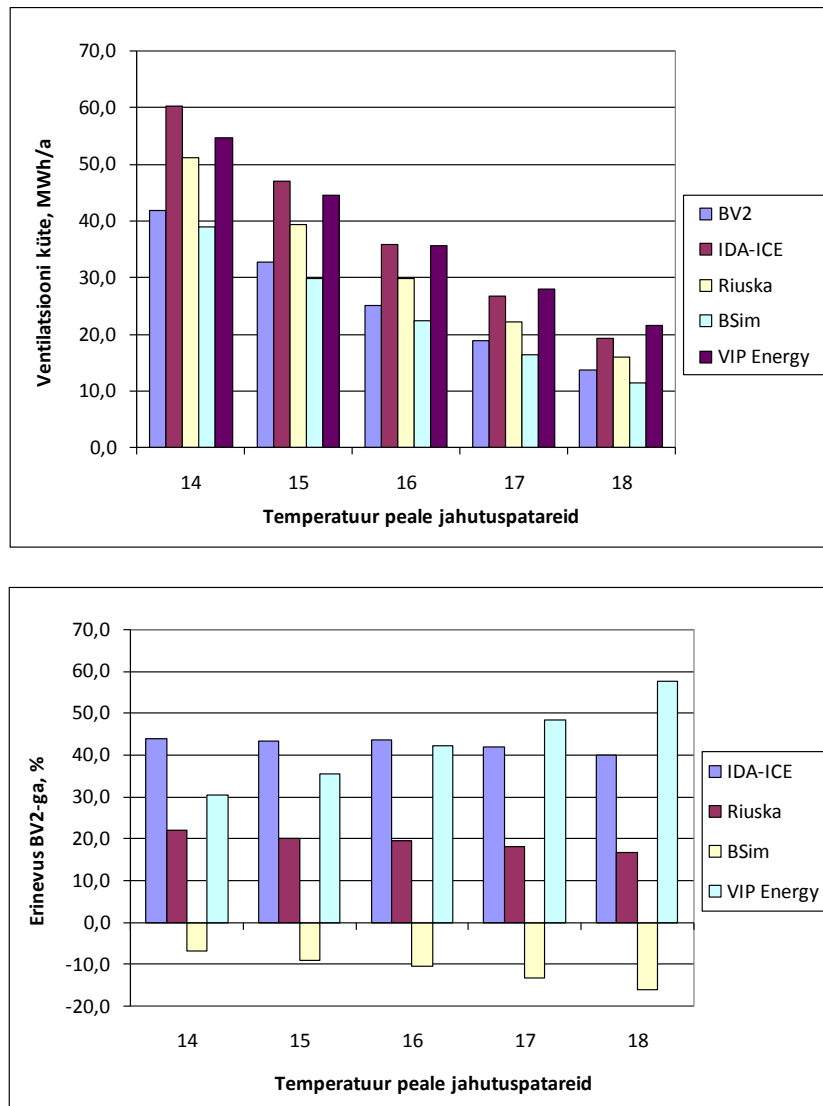


Joonis 61 Soojustagastita ventilatsiooniõhu töötlemise energiatarbimised sõltuvalt temperatuurist pärast kalorifeeri.

Tabel 78 Soojustagastita ventilatsiooniõhu töötlemise energiatarbimised sõltuvalt temperatuurist pärast jahutuspatareid.

Ventilatsiooni jahutus, MWh/a					
Temp. pärast patareid, °C	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
14	41,9	60,3	51,2	39,0	54,7
15	32,8	47,0	39,4	29,8	44,5
16	25,0	35,9	29,9	22,4	35,6
17	18,8	26,7	22,2	16,3	27,9
18	13,7	19,2	16,0	11,5	21,6

Erinevus BV2-ga, %					
Temp. pärast patareid, °C	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
14	0,0	43,9	22,2	-6,9	30,5
15	0,0	43,3	20,1	-9,1	35,7
16	0,0	43,6	19,6	-10,4	42,4
17	0,0	42,0	18,1	-13,3	48,4
18	0,0	40,1	16,8	-16,1	57,7



Joonis 62 Soojustagastita ventilatsiooniõhu töötlemise energiatarbimised sõltuvalt temperatuurist pärast jahutuspatareid.

3.12.7. Väliskliima andmete mõju järeldused

Antud simulatsioonide põhjal võib teha järgmised üldistused:

- Soojus:
 - BV2 arvutuste korral on ventilatsiooni soojustarbimine üldjuhul suurem kui teistel programmidel (va BSim). BSim'ga tulemused kattusid. BV2 tarbimine oli Riuska omast ca 4 %, IDA-ICE omast ca 10 % ja VIP Energy omast ca 20 % suurem;
 - Suhteline erinevus praktiliselt ei sõltunud sissepuhkeõhu temperatuurist pärast jahutus/küttepatareid. See viitab asjaolule, et varemases arvutustes, kus ventilatsiooni soojusenergia tulemuste suhteline erinevus sõltus temperatuurist

pärast jahutus/küttepatareid, olid need erinevused osaliselt tingitud konkreetse programmi soojustagastuse arvutuse meetodikast ja lähenemisviisist st vaadeldud arvutusprogrammides on erinevusi soojustagastuse arvutamise meetodikates.

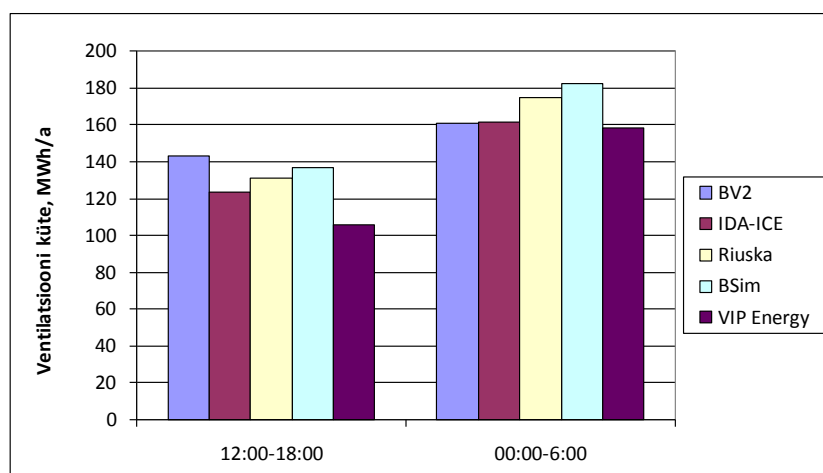
- Jahutus
 - Üldjuhul olid BV2 ventilatsiooni jahutuse energiatarbimised (va. BSim) väiksemad teiste programmidega saadust. Jahutuse suhtelised erinevused olid võrreldes soojendamise energiatega oluliselt suuremad;
 - Suhteline erinevus Riuska ja IDA-ICE puhul praktiliselt ei sõltunud;
 - BV2 ventilatsiooniõhu töötlemise energiatarbimised vajavad täiendavat analüüsi.

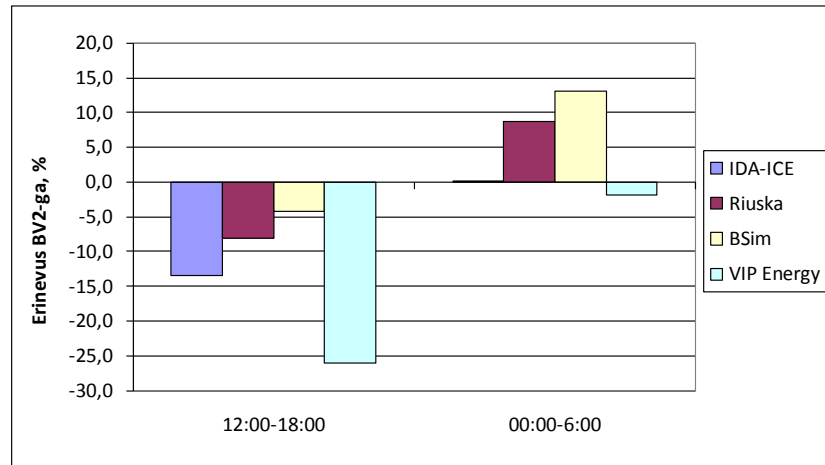
3.12.8 Ventilatsiooni tagastita spordihoone, ventilatsioon töötab öisel või päeval perioodil

Arvutustulemused on toodud alljärgnevates tabelites ning joonistel.

Tabel 79 Soojustagastita ventilatsiooniõhu soojendamine päeval ja öisel perioodil.

Ventilatsiooni küte, MWh/a					
Kellaeg	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
12:00-18:00	143	123,8	131,4	137	105,7
00:00-6:00	161,1	161,3	175,2	182,2	158,1
Erinevus BV2-ga, %					
Kellaeg	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
12:00-18:00	0	-13,4	-8,1	-4,2	-26,1
00:00-6:00	0	0,1	8,8	13,1	-1,9

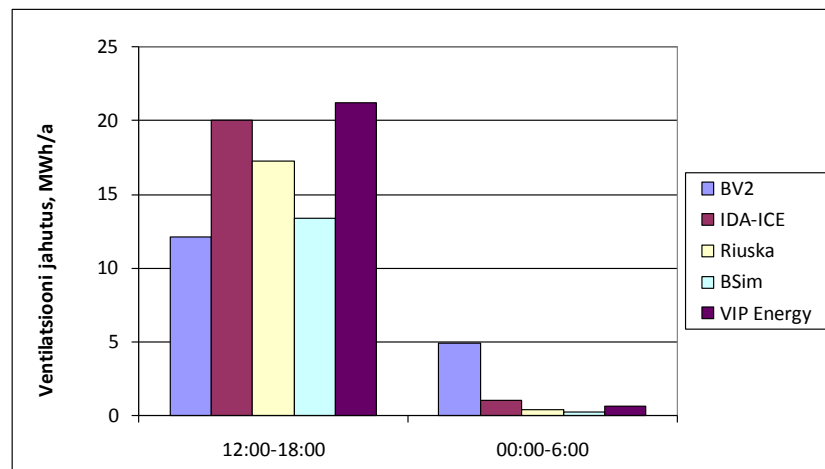


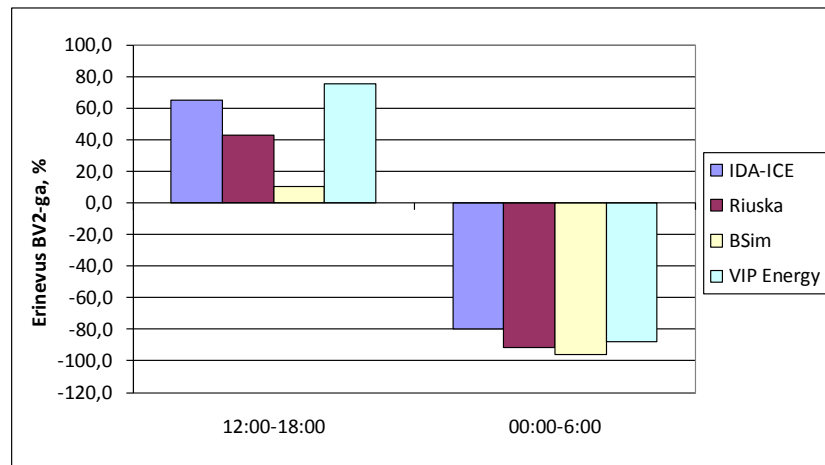


Joonis 63 Soojustagastita ventilatsiooniõhu soojendamine päeval ja öisel perioodil.

Tabel 80 Soojustagastita ventilatsiooniõhu jahutamine päeval ja öisel perioodil.

Ventilatsiooni jahutus, MWh/a					
Kellaaeg	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
12:00-18:00	12,1	20	17,3	13,4	21,2
00:00-6:00	4,9	1	0,4	0,2	0,6
Erinevus BV2-ga, %					
Kellaaeg	BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
12:00-18:00	0	65,3	43,0	10,7	75,2
00:00-6:00	0	-79,6	-91,8	-95,9	-87,8





Joonis 64 Soojustagastita ventilatsiooniõhu jahutamine päeval ja öisel perioodil.

Antud simulatsioonide põhjal võib teha järgmised üldistused:

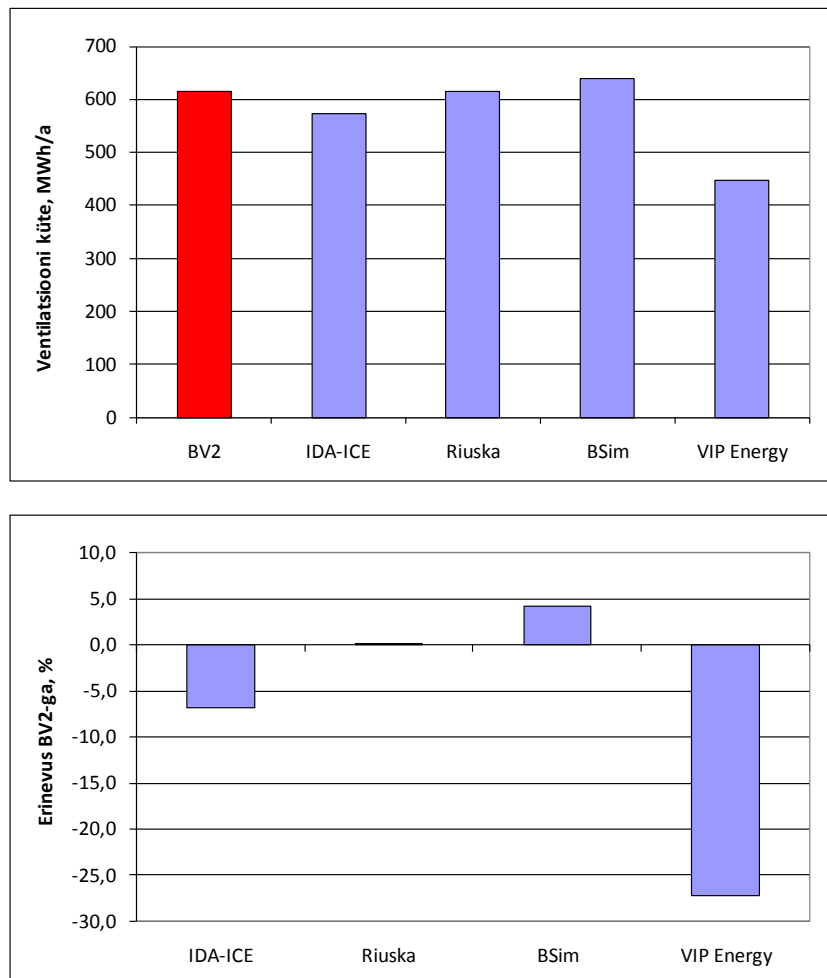
- Kõikide programmide korral oli ventilatsiooni soojustarbimine öisel ajal suurem kui päeval ja jahutuse tarbimine vastupidi, st kõik programmid ka BV2 võtavad arvesse, et öösel on üldjuhul välisõhu temperatuur madalam kui päeval;
- Torkab silma, et suhteline erinevus on soojuse osas päeval ajal positiivne ja jahutuse osas negatiivne ning öisel ajal pigem vastupidi. See viitab asjaolule, et BV2 lihtsustatud väliskliima lähenemisviis ei pruugi olla kõige adekvaatsem ja võib anda sõltuvalt ventilatsioonisüsteemi ööpäevasest töörežiimist moonutatud tulemusi;
- BV2 ventilatsiooniõhu töötlemise energiatarbimised vajavad täiendavat analüüsi.

3.12.9. Ventilatsiooni soojustagastita spordihoone. Ventilatsioon töötab 24 tundi ööpäevas ja 7 päeva nädalas

- Muud tingimused samad, mis eelmisel variandil, erineb ainult ventilatsiooni tööaeg, mis on pidev ja sissepuhkeõhu temperatuur pärast tagastit oli 16 °C

Tabel 81 Soojustagastita ventilatsiooniseadme kütteenergia. Töötab 24h/7 päeva, $L=5\text{m}^3/\text{s}$.

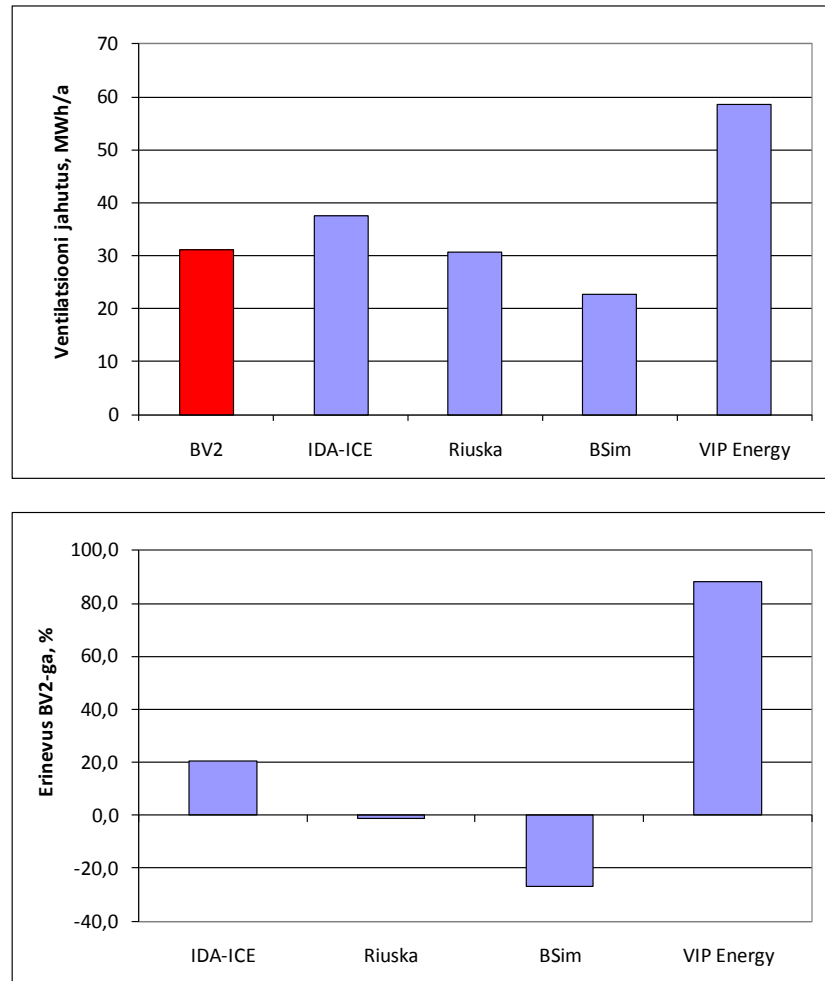
Ventilatsiooni küte, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
614,1	572,1	614,4	639,9	446,8
Erinevus BV2-ga, %				
BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
0	-6,8	0,0	4,2	-27,2



Joonis 65 Soojustagastita ventilatsiooniseadme kütteenergia. Töötab 24h/7 päeva, $L=5\text{m}^3/\text{s}$.

Tabel 82 Soojustagastita ventilatsiooniseadme jahutusenergia. Töötab 24h/7 päeva, $L=5\text{m}^3/\text{s}$.

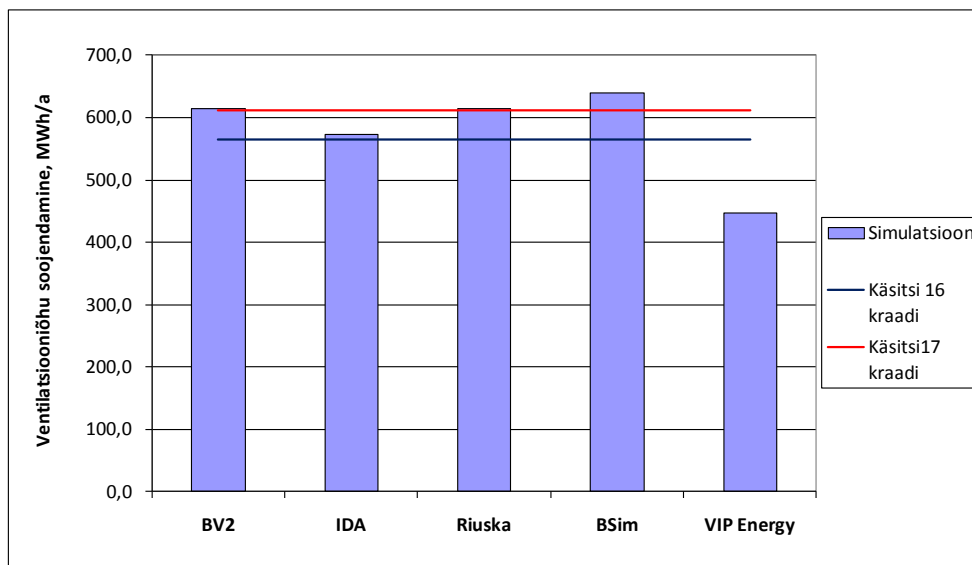
Ventilatsiooni jahutus, MWh/a				
BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
31,1	37,5	30,7	22,8	58,6
Erinevus BV2-ga, %				
BV2	IDA-ICE	Riuska	BSim	VIP Energy
0	20,6	-1,3	-26,7	88,4



Joonis 66 Soojustagastita ventilatsiooniseadme jahutusenergia. Töötab 24h/7 päeva, $L=5\text{m}^3/\text{s}$.

Antud simulatsiooni põhjal võib teha järgmised üldistused:

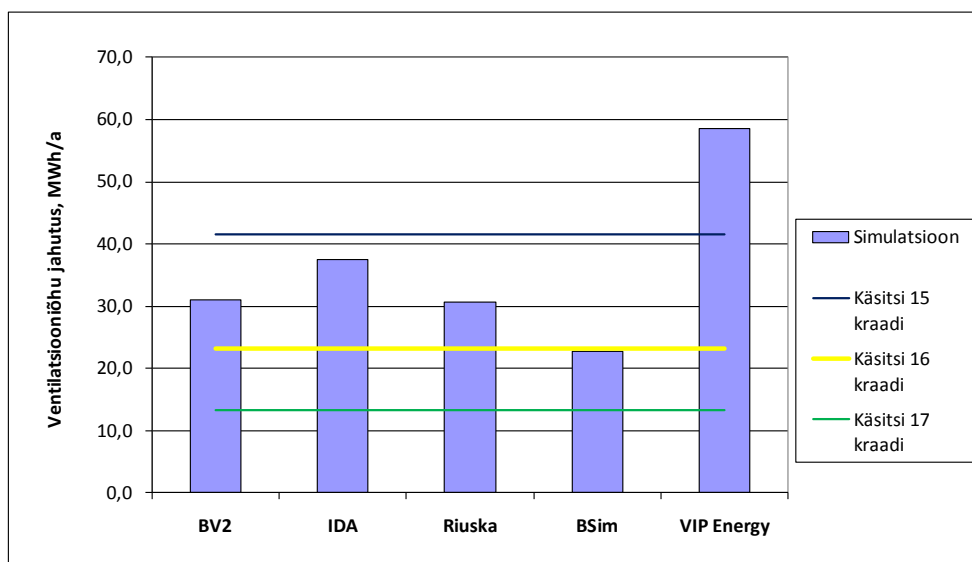
- VIP Energy tulemused erinevad kardinaalselt teistest;
- BV2 tulemused klappivad hästi Riuska tulemustega;
- Kuna ventilatsioon töötab pidevalt on võimalik arvutada ventilatsiooni õhutöötlemise energiavajadused ka käsitsi. Alljärgneval graafikul on toodud soojusenergia tulemused simulatsiooniprogrammidega ning käsitsi tehtud kontrollarvutused temperatuuriga pärast küttepatareid $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $17\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Joonis 67 Ventilatsiooni soojustarbimised simulatsiooniprogrammidega ja käsitsi.

Käsitsi tehtud arvutuste põhjal võib eeldada, et BV2 lähtub temperatuurist pärast küttepatareid 17 °C ja mitte 16 °C

Alljärgneval graafikul on toodud jahutusenergia tulemused simulatsiooniprogrammidega ning käsitsi tehtud kontrollarvutused temperatuuriga pärast küttepatareid 15, 16 ja 17 °C. Jahutusenergiaarvutustes on vaja arvesse võtta ka õhukuivatamiseks kuluv lisaenergia. Käsitsi arvutustes on eeldatud, et õhu suhteline niiskus on pärast jahutuspatareid 90 %, sellisel juhul vastab 15 °C soojussisaldus 16 °C 41 ja 17 °C 43,5 kJ/kg.



Joonis 68 Ventilatsiooni jahutustarbimised simulatsiooniprogrammiga ja käsitsi.

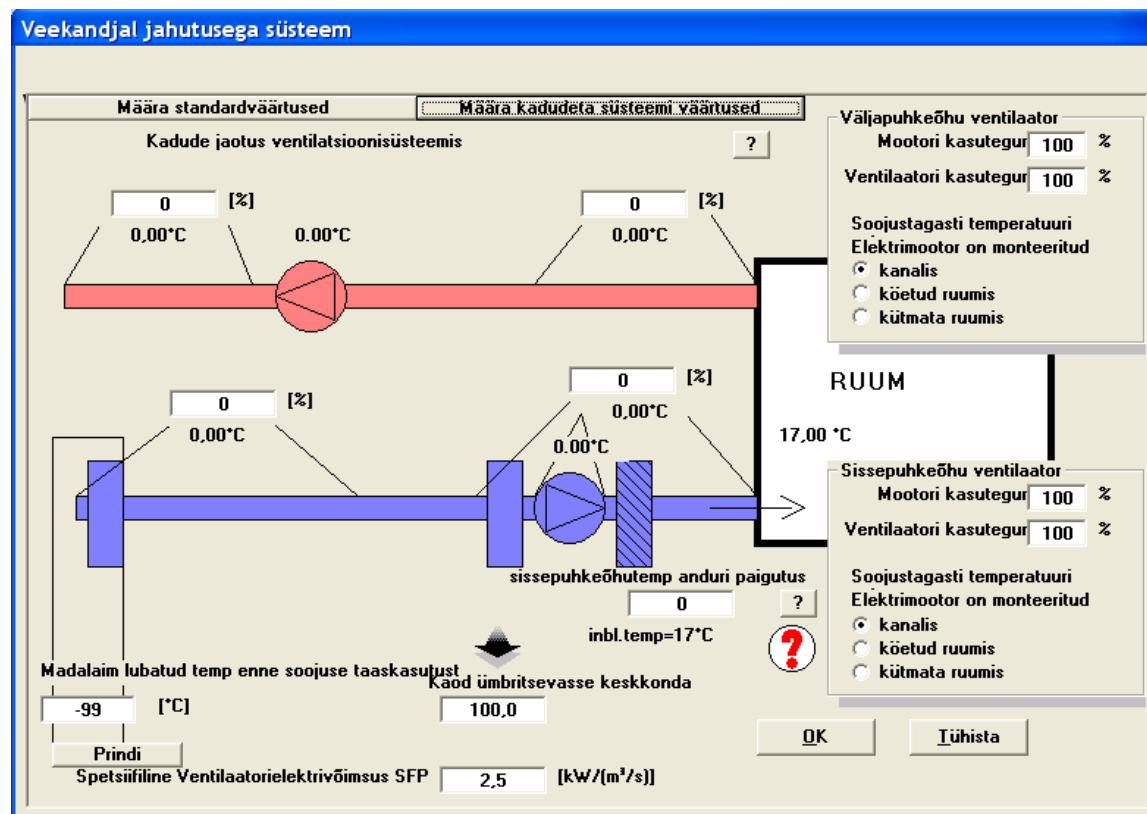
Millisest õhu lõppparameetrist (temperatuur, soojussisaldus) mingi programm lähtub pole osade programmide puhul kasutaja jaoks selgeks tehtud. Osades programmides ei ole selge, kas ja kui palju võetakse arvutustes arvesse ventilatsiooniõhu täiendavat soojenemist (ventilaatorid, kanalid jms) süsteemis nn kadude arvelt. Lõppparameeter sõltub jahutuspatarei pinna temperatuurist, jahutuspatarei efektiivsusest jms. Tõenäoliselt lähtuvad eri programmid erinevast meetodikast, mistõttu on jahutuse osas suured erinevused.

- BV2 lähtub õhu lõppparameetri määramisel lihtsustatud mudelist ja antud näite korral oli pidi õhu temperatuur pärast tagastit olema 16 °C natuke madalam.

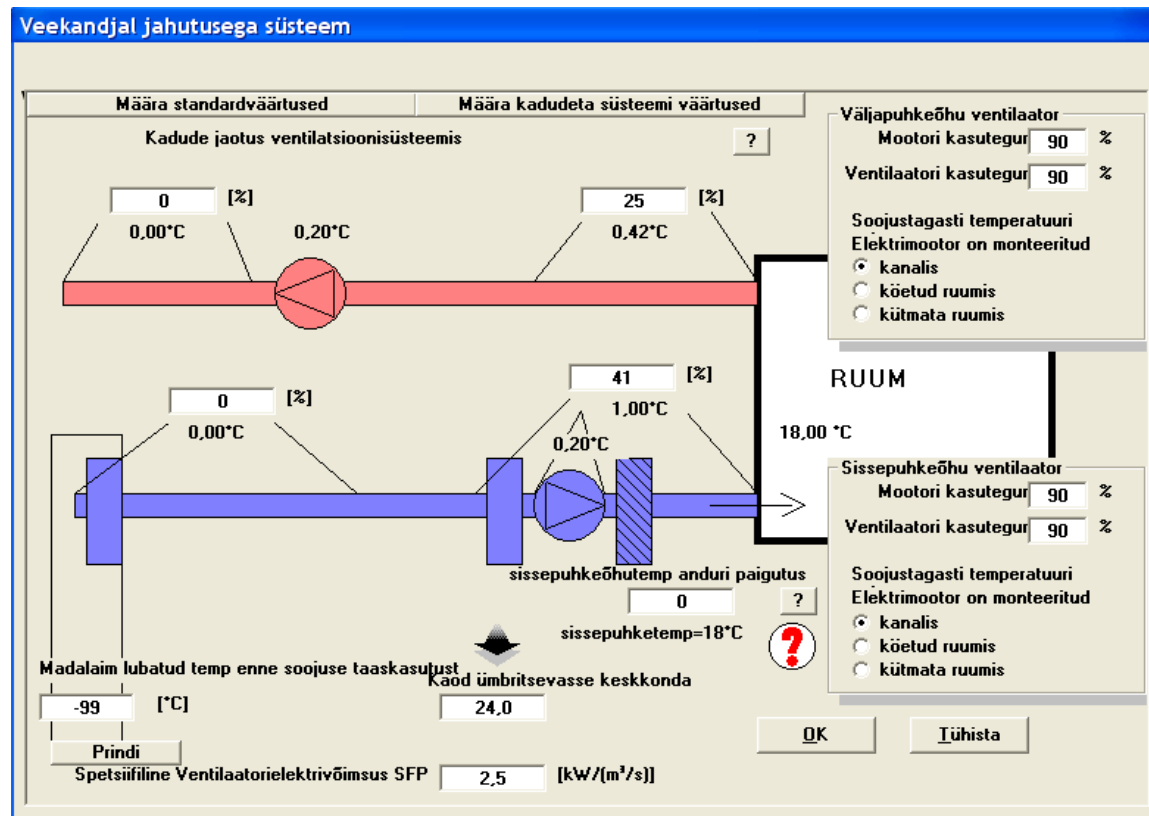
BV2 ventilatsiooniõhu töötlemise energiatarbimise sõltuvus andmete esitusviisist.

BV2 võimaldab arvutada ventilatsiooniõhu soojenemise ventilatsioonisüsteemis ja seda arvestada jahutus/küttepatarei energiatarbimiste arvutuste. Alljärgnevalt on kontrollitud, kuivõrd BV2 ventilatsiooni õhutöötamise energiatarbimiste tulemused sõltuvad lähteandmete esitusviisist ja kas sellest võib olla tingitud erinevused arvutustulemustes. Eelnevatest arvutustest jäi natuke ebaselgeks millisest õhu parameetrist pärast jahutus/küttepatareid BV2 lähtub.

Temperatuuri lisatõusu süsteemis on võimalik arvestada spetsiaalse arvutusakna vahendusel (vt alljärgnevaid jooniseid).



Joonis 69 Ventilatsiooni kadude (temperatuuri muutuse) BV2 aken. Kadusid ei arvestata ruumi temperatuur on 17 ja pärast patarei 17 °C.



Joonis 70 Ventilatsiooni kadude (temperatuuri muutuse) BV2 aken. Kadusid arvestatakse ruumi temperatuur on 18, temperatuuri tõus pärast patareid 1 ja pärast patareid 17 °C.

Kontrollarvutused teostati büroo hoone näitel järgmistel tingimustel:

- Sisepuhkeõhu vooluhulk 7,526 m³/s;
- Ventilatsioon töötas pidevalt 24h/7p;
- Ventilatsioonil puudus soojustagastus
- Muudeti temperatuuri pärast patareid 15, 16, 17 18 ja 19 °C
- Arvutused teostati kahel viisil:
 - Määrati, et süsteemil kaod puuduvad, st sisepuhkeõhu temperatuur oli võrdne temperatuuriga pärast patareid;
 - Määrati, et temperatuuri tõus pärast patareid on 1 °C, st pärast jahutuspatareid oli temperatuur 1 °C võrra madalam sisepuhkeõhu temperatuurist.
- Lisaks teostati käsitsi kontrollarvutused

Arvutuste põhjal võib teha järgmised üldistused:

- Soojusenergia osas klappisid tulemused käsitsi arvutustega juhul kui kadusid ei arvestatud, juhul kui kadusid arvestati vastavalt BV2 enda arvutusmootorile, erinesid tulemused. Tulemused klappisid kui temperatuuri muutust ei arvestataks;
- Jahutusenergia osas olid BV2 tulemused mõlema variandi korral praktiliselt samased, st jahutuse korral arvutas BV2 „kaod“ õieti;

- Mida kõrgemaks läks temperatuur pärast soojustagastit, seda suurem oli erinevus BV2 ja käsitsi arvutatu vahel;
- BV2 jahutus/küttepatarei energia arvutuste osas esineb segadus ja tundub, et süsteemi kadusid (temperatuuri tõusu süsteemis) ei arvutata õieti;
- Jahutuse energiavajadus vajab täiendavat BV2 autorite poolset selgitust ja täpsustust.

Kokkuvõtte ventilatsiooniõhu töötamise energiatarbimiste kontrollarvutustest

Läbiviidud arvutuste põhjal võib teha järgmised kokkuvõtted:

- Erinevate arvutusprogrammide tulemused erinevad küllaltki suurtes piirides ja seda eriti jahutusenergia osas;
- VIP+ ja BSim ei võimalda arvesse võtta soojustagast külmumisvastast temperatuuri;
- Programmide vahel esineb erinevusi soojustagastuse arvesse võtmisel;
- Kõikide programmide korral oli ventilatsiooni soojustarbimine öisel ajal suurem kui päeval ja jahutuse tarbimine vastupidi, st kõik programmid ka BV2 võtavad arvesse, et öösel on üldjuhul välisõhu temperatuur madalam kui päeval;
- Suhteline erinevus on soojuse osas päeval ajal positiivne ja jahutuse osas negatiivne ning öisel ajal pigem vastupidi. See viitab asjaolule, et BV2 lihtsustatud väliskliima lähenemisviis ei pruugi olla kõige adekvaatsem ja võib anda sõltuvalt ventilatsioonisüsteemi ööpäevasest töörežiimist moonutatud tulemusi;
- BV2 jahutus/küttepatarei energia arvutuste osas esineb segadus ja tundub, et süsteemi kadusid (temperatuuri tõusu süsteemis) ei arvutata õieti.

Ei saa öelda, et BV2 tulemused ventilatsiooni energiatarbimiste osas oleks vastuvõetamatud ja ei sobiks Eesti oludes kasutamiseks, kuid enne kasutamist on vaja saada programmi autoritelt kõigi eelnevalt toodu BV2 puudutavatele märkustele selgitused ja ilmselt on vaja ventilatsiooni osas programmi natuke täiendada ja teha kasutajate jaoks täiendavad juhendmaterjalid

3.13 Kokkuvõtte võrdlusarvutustest

Eelnevad võrdlusarvutused näitasid, et eri arvutusprogrammidega saadi küllaltki suurtes piirides erinevaid tulemusi, kohati erinesid tulemused isegi kordades.

Arvutustulemuste erinevuste põhilisteks põhjusteks olid:

- Konkreetse arvutusprogrammi ülesehitus ja iseärasused nagu näiteks:
 - Välispiirete soojuskao ja vabasoojuste dünaamika arutusmetoodika (DOE2, tasakaaluvõrrandid jms);
 - Arvutusmootor ja algoritm;
 - Programmi lihtsustused (näiteks kliimafaili modifitseerimine konkreetse arvutusprogrammi tarbeks);
 - Erinevused sissepuhkeõhu temperatuuri ja temperatuuri pärast kütte/jahutuspataraid määramisel, sissepuhkeõhu soojenemise (ventilaator, õhukanalid jms) arvestamine;
 - Soojustagastuse arvutusmetoodika (näiteks jäätumisvastase temperatuuri arvestamine või mitte arvestamine);

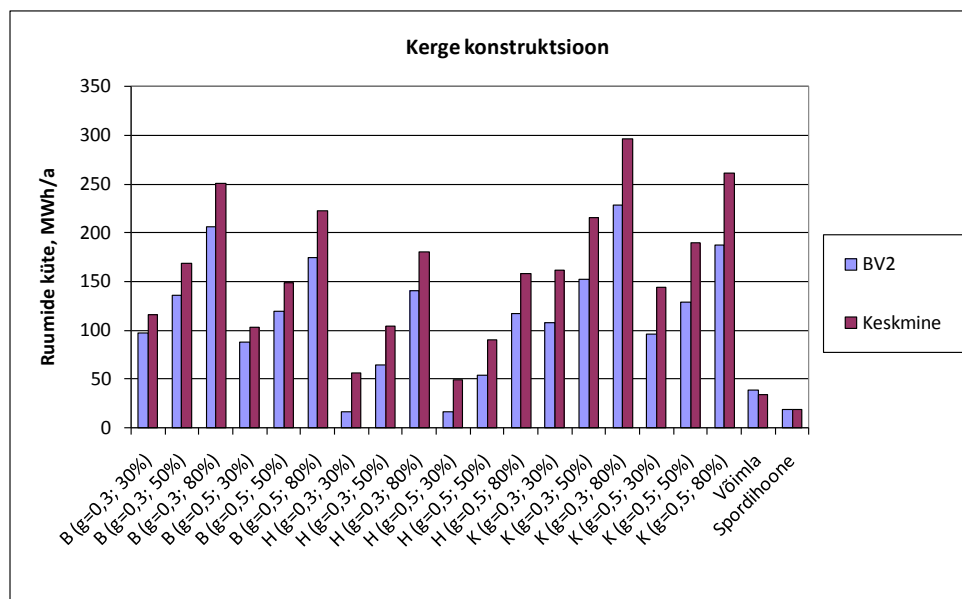
- Ruumide tegelikud temperatuurid erinevad programmide lõikes.
- Eri programmide iseärasused mudelite ülesehitamisel ja lähteandmete määratlemisel, nagu näiteks:
 - Akende otsese ja kogu päikeseläbilaskvusteguri eristamine või mitte;
 - Külmasildade arvestamine;
 - Soojuskadude arvutus läbi põrandate,
 - Varjude arvestamine või mitte arvestamine;
 - Tsoonide vahelise soojuslevi arvestamine või mitte arvestamine;
 - Otsese päikese kiirguse paistmine läbi maja suurte klaaspindade.
- Konkreetse isiku poolt koostatud arvutusmudeli erinevus teise isiku poolt koostatud mudelist. Antud töö raames püüti viia see risk miinimumini, kuid pisierinevused siiski esinesid.

Lõplike koondüldistuste tegemisel lähtuti põhimõttest, kus võrreldi erinevate arvutusvariantide BV2 tulemusi võrdlusprogrammide vastava variandi aritmeetilise keskmisega. Võrdlus on küll suhteliselt tinglik, kuid positsioneerib laias laastus BV2 tulemused teiste programmidega saadud tulemuste suhtes.

Allpool toodud tabelites ja graafikutel on koondvõrdluse tulemused ruumide kütte- ja jahutusenergia osas sõltuvalt hoone raskest või kergest konstruktsioonist.

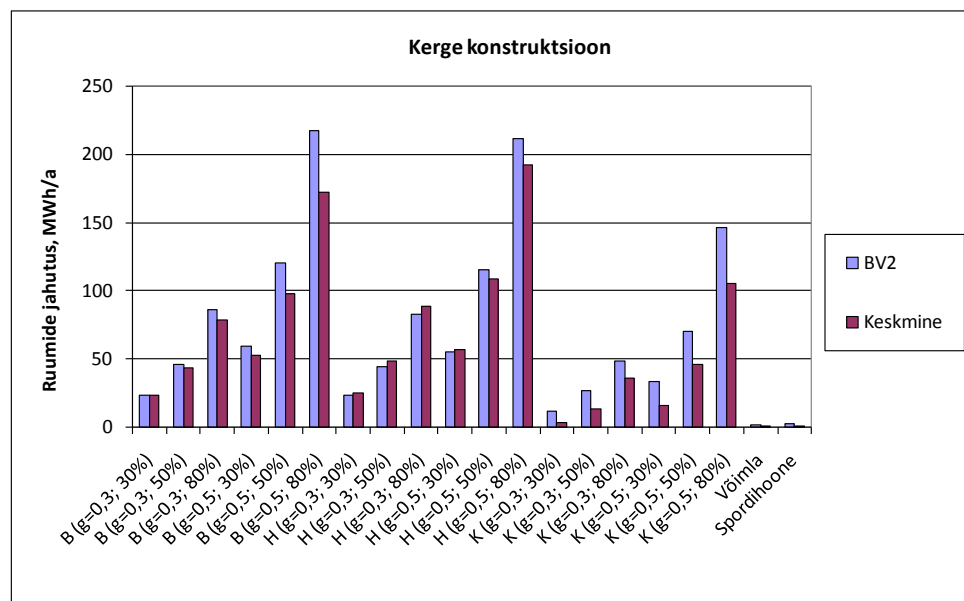
Tabel 83 Kerge konstruktsiooniga hoonete koondtabel ja graafik. Küte.

Absoluutväärtusena, MWh/a							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP Energy
Büroo küte	SF=0,3	30	98	114	126	129	96
		50	136	166	175	187	146
		80	206	252	255	266	229
	SF=0,5	30	88	102	109	117	85
		50	120	147	150	169	129
		80	175	227	218	243	204
Hotelli küte	SF=0,3	30	16	60	74	62	29
		50	65	111	122	111	71
		80	140	195	201	181	145
	SF=0,5	30	16	53	63	55	25
		50	54	97	103	97	61
		80	117	173	170	163	127
Koolimaja küte	SF=0,3	30	107	169	168	177	132
		50	153	223	217	237	185
		80	228	309	294	313	269
	SF=0,5	30	96	150	146	161	118
		50	129	197	184	213	163
		80	187	275	249	283	238
Võimla			38,3	36,2	33,8	42,6	23,6
Spordihoone			18,7	20,0	18,7	26,2	11,3

**Joonis 71** Kerge konstruktsiooniga hoonete koondtabel ja graafik. Küte.

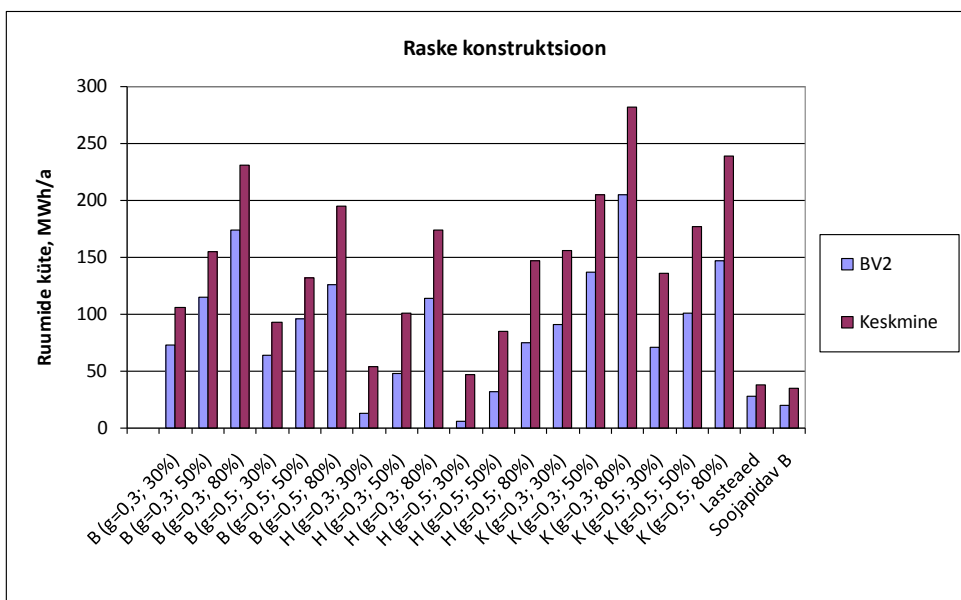
Tabel 84 Kerge konstruktsiooniga hoonete koondtabel ja graafik. Jahutus.

Absoluutväärtusena, MWh/a							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP Energy
Büroo jahutus	SF=0,3	30	23	13	49	10	22
		50	46	31	82	23	37
		80	86	63	133	53	66
	SF=0,5	30	59	42	90	30	49
		50	120	86	152	68	87
		80	218	155	237	141	155
Hotelli jahutus	SF=0,3	30	24	10	63	9	18
		50	44	27	109	23	34
		80	83	60	183	51	62
	SF=0,5	30	55	37	117	30	43
		50	115	81	203	68	81
		80	211	151	331	139	148
Koolimaja jahutus	SF=0,3	30	12	2	7	1	4
		50	27	9	25	5	13
		80	49	30	60	20	32
	SF=0,5	30	33	13	27	6	17
		50	70	43	67	29	44
		80	146	100	135	87	98
Võimla			1,6	0,0	0,0	0,0	0,3
Spordihoone			2,2	0,0	0,0	0,0	0,5

**Joonis 72** Kerge konstruktsiooniga hoonete koondtabel ja graafik. Jahutus.

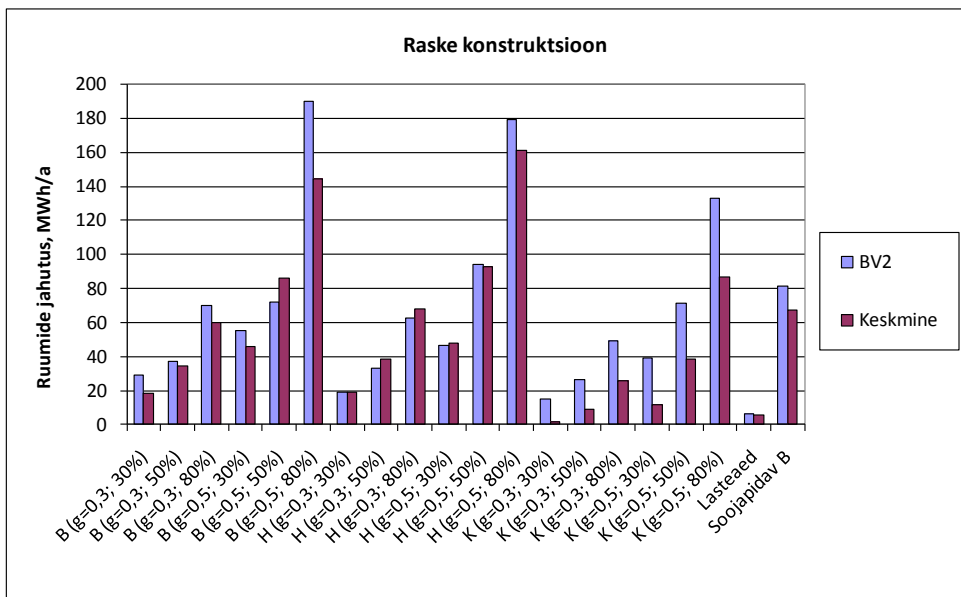
Tabel 85 Raske konstruktsiooniga hoonete koondtabel ja graafik. Küte.

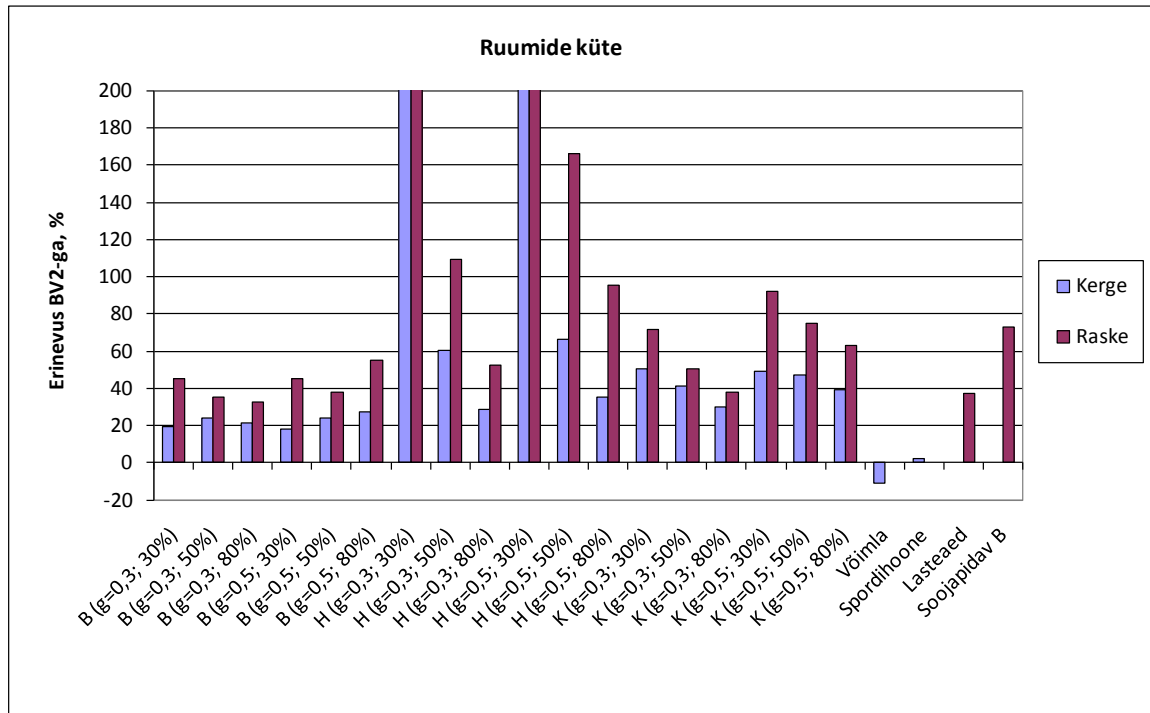
Absoluutväärtusena, MWh/a							
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riуска	Bsim	VIP Energy
Büroo küte	SF=0,3	30	73	105	113	119	88
		50	115	154	157	175	135
		80	174	231	224	258	210
	SF=0,5	30	64	91	95	107	76
		50	96	131	129	153	115
		80	126	197	181	224	177
Hotelli küte	SF=0,3	30	12	57	72	60	28
		50	48	105	115	113	69
		80	114	182	182	194	138
	SF=0,5	30	6	49	60	53	24
		50	32	90	94	99	59
		80	75	155	146	168	117
Koolimaja küte	SF=0,3	30	91	164	161	170	127
		50	137	214	204	228	174
		80	205	291	269	312	254
	SF=0,5	30	71	143	137	153	112
		50	101	184	169	201	152
		80	147	250	219	271	215
Lasteaed			27	48	31	38	32
Soojapidav B			20	41	36	30	31

**Joonis 73** Raske konstruktsiooniga hoonete koondtabel ja graafik. Küte.

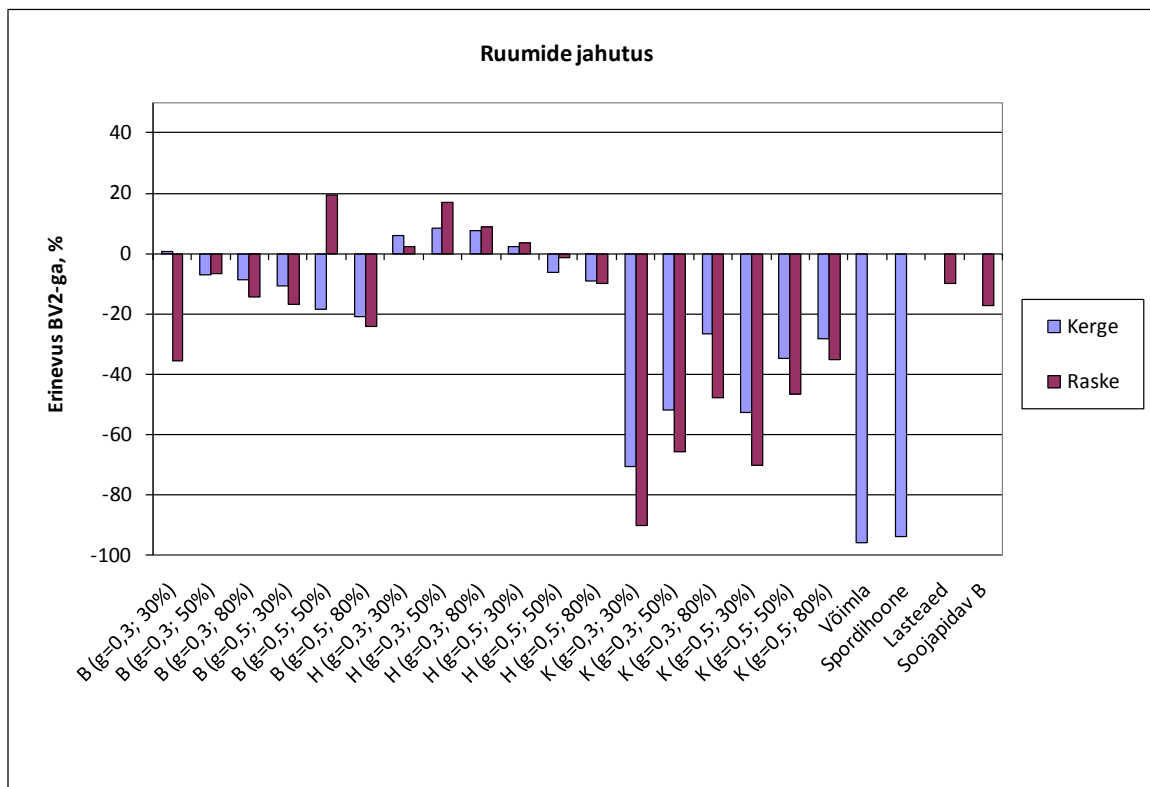
Tabel 86 Raske konstruktsiooniga hoonete koondtabel ja graafik. Jahutus.

		Absoluutväärtusena, MWh/a					
		Aken, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP Energy
Büroo jahutus	SF=0,3	30	29	8	42	7	18
		50	37	21	73	16	30
		80	70	40	117	35	49
	SF=0,5	30	55	34	81	26	43
		50	72	75	139	56	74
		80	190	121	222	109	125
Hotelli jahutus	SF=0,3	30	19	5	52	6	15
		50	33	16	95	17	27
		80	62	35	154	37	46
	SF=0,5	30	46	27	101	25	38
		50	94	61	184	57	70
		80	179	112	300	112	120
Koolimaja jahutus	SF=0,3	30	15	0	4	0	2
		50	26	3	23	2	7
		80	49	14	55	13	21
	SF=0,5	30	39	7	23	4	13
		50	71	29	65	23	36
		80	133	71	131	66	78
Lasteaed			6	0	13	2	6
Soojapidav B			82	51	105	44	71

**Joonis 74** Raske konstruktsiooniga hoonete koondtabel ja graafik. Jahutus.



Joonis 75 Koondgraafik. Ruumide kütte erinevus BV2-ga.



Joonis 76 Koondgraafik. Ruumide jahutuse erinevus BV2-ga.

Joonistel ja tabelites on kasutatud erinevate arvutuvariantide (mudelite) eristamiseks järgmist tähistust:

Esimene täht tähistab hoone tüüpi

B	büroo
H	hotell
K	koolimaja

$g=0,3$ päikeseläbivustegur on 0,3

$g=0,5$ päikeseläbivustegur on 0,5

30 % fassaadist on 30% aknaid

50 % fassaadist on 50% aknaid

80 % fassaadist on 80% aknaid

Näiteks B($g=0,3$; 30%) tähistab mudelit, kus oli tegemist büroohoonega (B), päikeseläbivusteguriga 0,3 ($g=0,3$) ja akende osakaal oli fassaadist 30 %.

Kokkuvõtlikult võib teha võrdlusarvutuste kohta järgmised üldistused:

- Ruumide kütte
 - Eriprogrammidega saadud tulemused erinevad üksteisest väga suurtes piirides, kohati kordades;
 - BV2 poolt saadud ruumide kütte netoenergia oli üldjuhul väiksem kui võrdlusprogrammide keskmine jäädes üldjuhul vahemikku 20...70 %;
 - Raske konstruktsiooni korral oli ruumide kütte netoenergia erinevus suurem kui kerge konstruktsiooni korral;
 - BV2 ruumide kütteenenergia netoenergiakulud on oluliselt väiksemad kui võrdlusprogrammide keskmine,
 - Üldjuhul, mida rohkem on vabasoojust, seda suurem on BV2 erinevus teistest programmidest. Hotelli puhul olid BV2 tulemused ebausutavalt väikesed.
- Ruumide jahutus
 - Eriprogrammidega saadud tulemused erinevad üksteisest väga suurtes piirides, kohati kordades. Jahutuse erinevused eri programmide vahel on oluliselt suuremad kui ruumide kütte korral;
 - BV2 saadud ruumide jahutuse netoenergia oli üldjuhul (va osa hotelli variante ja üks büroohoone variant) suurem kui võrdlusprogrammide keskmine. Kõige suurem on ruumide jahutusenergia erinevus kooli arvutussvariantide korral küündides 30...90 %'ni.
- Ventilatsioon
 - VIP+ ja BSim ei võta arvesse soojustagastuse külmumiskaitse temperatuuri;
 - Erinevate programmidega saadud tulemused erinesid suurtes piirides. Suurem on erinevus ventilatsiooni jahutuse osas;
 - BV2 lihtsustatud väliskliima lähenemisviis ei pruugi olla kõige adekvaatsem ja võib anda sõltuvalt ventilatsioonisüsteemi ööpäevasest töörežiimist moonutatud tulemusi;

- BV2 jahutus/küttepatarei energia arvutuste osas esineb segadus ja tundub, et süsteemi kadusid (temperatuuri tõusu süsteemis) ei arvutata õieti;
- Ei saa öelda, et BV2 tulemused ventilatsiooni energiatarbimiste osas oleks vastuvõetamatud ja ei sobiks Eesti oludes kasutamiseks, kuid enne kasutamist on vaja saada programmi autoritelt kõigile käesolevas töös toodud BV2 puudutavatele märkustele selgitused ja ilmselt on vaja ventilatsiooni osas programmi natuke korrigeerida ja teha kasutajate jaoks täiendavad juhendmaterjalid.

Kuna võrdlusarvutuste eri programmide arvutustulemused erinesid liiga suurtes piirides, on võimatu üheselt öelda, kas BV2 on parem, täpsem, adekvaatsem, kui teised programmid. BV2-l on teatud puudusi ja lihtsustusi. Suure vabasoojuse korral käitub BV2 ebausutavamalt

Üldjuhul annab BV2 võrdlusprogrammide keskmise suhtes väiksema ruumide kütte energiatarbimise ja jahutuse osas suurema. Teatud mööndustega ja eeldusel, et programmi autorid annavad adekvaatsed selgitused käesolevas töös ülestõstatatud vastuoludele ja probleemidele ning vajadusel korrigeerivad tarkvara, võiks kaaluda BV2 kasutamist energiatoõhususe miinimumnõuete tõendamisel. Seda teemat on põhjalikumalt käsitletud järgmises peatükis.

4 Ettepanekud ja soovitus

Antud töö raames läbiviidud uuringute, analüüside ja arvutuste põhjal selgus, et Vabariigi Valitsuse määruse nr 258 20.12.2007 „Energiatehnikuse miinimumnõuded“ rakendamise on Eestis tõsisel probleeme ja teostatud analüüsile tuginedes võib öelda, et praktikas määrus ei toimi ja ei täida püstitatud eesmärki.

4.1. Olulisemad probleemid

Olulisemad kitsaskohad on järgmised:

- Määrus on keerukas, kohati mitmeti tõlgendatav, puuduvad täiendavad selgitavad juhendmaterjalid, mistõttu on määruse kohaste arvutuste tegemine komplitseeritud, saadud tulemuste adekvaatsuse ja kontrolli teostamine problemaatiline kohati võimatu ja tihti vaidlusi tekitav;
- Määrus on koostatud „idealistlikult“ ja ei arvesta reaaleluga - ühiskond pole nii suurteks muutusteks valmis ja määruse täitmiseks puuduvad vajalikud eeldused;
- Määrusega nõutav hoone energiatarbimise dünaamilise simulatsiooni meetod (vastava arvutustarkvara kasutamine) on igati progressiivne, kuid selle kasutamisega kaasneb rida probleeme ja küsitavusi nagu näiteks:
 - Eestis kasutatakse miinimumnõuete tõendamiseks arvutusprogramme, mis ei vasta määruse nõuetele. Müüjad väidavad, et need programmid vastavad määruse nõuetele, kuid tegelikkuses see alati nii ei ole. Ostjatel (kasutajatel) puudub pädevus hinnata selle vastavust määrusele. Ka antud töö raames teostatud arvutustulemuste analüüsist selgus, et leidub programme, mis väidetavalt määrusele vastavad, kuid tegelikkuses ei vasta;
 - Erinevate arvutusprogrammidega saadud tulemused erinevad väga suurtes piirides – mitmekümne protsendilised erinevused pole haruldased. Tuleb arvestada, et sageli on programmide valideerimise aluseks suhteliselt lihtsad hoone tüübid ja programm loetakse valideerituks kui viga jääb alla 20 %'ni [9]. Näiteks kui nn reference väärtus on 100 ja ühe programmiga saadakse tulemus 81 ja teisega 119, siis loetakse mõlemad valideerituks (viga alla 20 %), kuid nende kahe programmiga saadud tulemuste erinevus on $119/81 = 1,47$ korda;
 - Arvutusprogrammid on suhteliselt keerukad, mis eeldavad kasutajalt suurt erialast pädevust, vastavat koolitust ja töökogemust. Ka antud töö raames ilmnis alguses olukordasid, kus samade lähteandmete ja arvutusprogrammi kasutamisel said erinevad inimesed erinevad tulemused. Näiteks sõltub arvutustulemus mudeli ülesehitusest ehk tsoonideks jagamisest. Üldjuhul, kui arvutada kogu maja ühe tsoonina, mis on arvutuse teostajale oluliselt lihtsam ja kiirem, on saadav kütte- ja jahutuse netoenergiakulu sageli väiksem kui mitme tsoonilise mudeli korral. Erinevus võib olla kohati üle 20 %;
 - Üldjuhul tarkvara tootjad (müüjad) ei vastuta (ei võta rahalisi kohustusi) oma programmidega lõpptulemuste õigsuse ja programmi vigade eest;
- Arvutuste teostajatel sageli puuduvad vajalikud oskused. Praegu võivad energiatehnikuse tõendamise arvutusi teostada kõik projekteerimisettevõtjad kes omavad MTR's

projekteerimisalast registreeringut st põhimõtteliselt võib energiaatõhususe arvutust teostada ka näiteks teedehitusinsener;

- Kuna miinimumnõuete tõendamiseks kasutatakse erinevaid arvutustarkvarasid, mis annavad suurtes piirides erinevaid tulemusi, on arvutuste õigsuse kontroll praktiliselt võimatu, mis loob head eeldused ebaausaks tegevuseks;
- Suur osa projekteerijaid ignoreerivad määruse nõudeid ja tõendavad hoonete miinimumnõuetele vastavast kas formaalselt või isegi võltsides – kasutades näiteks varasemate tööde andmeid ja neid osaliselt kohandades, tehes tulemuste saamiseks lihtsaid ja ligikaudseid arvutusi exceli baasil, lihtsalt kasutades „laest võetud“ väärtusi, kasutades määrusele mitte vastavat tarkvara (näiteks BV2, PHPP7) jne;
- Dünaamiline arvutustarkvara soetamine ja selle kasutusele võtt on projekteerimisettevõttele suhteliselt kulukas, seda eriti praeguse majandusliku surutise tingimustes;
- Suvine ruumitemperatuuri kontrolli teostamise adekvaatsus sõltub iga programmi spetsiifikast ja eriti see, mis puudutab suvist akende avamist ruumiõhu temperatuuri alandamiseks.

Olukorra normaliseerimiseks tuleks riigil ja insenerkonnal midagi ette võtta. Allpool on toodud käesoleva töö raames esile kerkinud ettepanekud ja soovitusel.

4.2. Riiklik tasand

4.2.1. Juhendmaterjalid ja koolitused

Senine praktika on näidanud, et riik on suhtunud määruse rakendamisse suhteliselt ükskõikselt. On eeldatud, et kui määrus on kehtestatud, siis sellega on riigi poolt kõik tehtud ja määrus hakkab iseenesest toimima. Selleks, et nii oluline ja keerukale metoodikale tuginev määrus ka tegelikult rakenduks, on väga tähtis riigipoolne täiendav tugi ja initsiatiiv. Kuna määrus on küllaltki keerukas ja kohati mitmeti tõlgendatav, on hädavajalik:

- koostada juhendmaterjalid (näited, selgitused, tõlgendused) energiaatõhususe miinimumnõuete tõendamiseks;
- viia läbi koolitused miinimumnõuete tõendamise arvutuste teostamise, järelevalve jms osas;
- Luua toimiv kontrolljärelevalvet teostav institutsioon ja/või leida TJA-le täiendavaid ressursse.

Paraku tuleb tõdeda, et eraettevõtlus ei ole seni suutnud selles osas pädevat teenust pakkuda ja nende peale ei maksaks lähitulevikus loota. Seetõttu peaks riik selle tegevuse enda peale võtma.

4.2.2. Võimalikud tulevikustsenaariumid olukorra parandamiseks

Riigil tuleks otsustada millist teed mööda miinimumnõuete tõendamisel edasi minna. Tinglikult võiks käesoleva töö autorite nägemuse kohaselt lähtuda järgmistest stsenaariumitest:

- I stsenaarium: võtta kasutusele mõni lihtsam;
- II stsenaarium: las olla nii kui on ja täiendada määrust (Jätkata olemasoleva kuid oluliselt täiendatud metoodikaga);
- III stsenaarium: võtta miinimumnõuete tõendamiseks kasutusele ainult üks tarkvara;
- IV stsenaarium: lubada kasutada akrediteeritud tarkvarasid ja seada nõuded arvutuste teostajatele.

I stsenaarium. Võtta miinimumnõuete tõendamisel kasutusele mõni lihtsam meetod

Sellise meetodi korral tuleks loobuda dünaamilise simulatsiooni nõudest ja lähtuda näiteks erisoojuskao ($\Sigma U \cdot A$) ning komponendi põhistest nõuetest (näiteks energiaallika liik, ventilatsiooni soojustagastus, jms). See oleks midagi analoogset praeguses määruks oleva elamute lihtsustatud tõendamismeetodiga.

Antud stsenaariumi põhilisteks eelisteks on:

- lihtne ja odav arvutusi teostada ning nõuetele vastavust tõendada;
- läbipaistvus;
- lihtne ja odav teostada nõuetele vastavuse tõendamise õigsust.

ja põhilisteks puudusteks on:

- ei ole tänapäevane lähenemisviis;
- ei lähtuta summaarsest energiatarbimisest ega primaarenergiast vaid üksikutest hoonekomponentidest. Näiteks nn säästulampide kasutamisega küll väheneb elektritarbimine valgustuseks, kuid suureneb kütteks. Seda muutust ei saaks arvestada;
- ei võeta adekvaatselt arvesse vabasoojust. Tänapäevastes soojapidavates mitte eluhoonetes on vabasoojusel soojusbilansis suhteliselt suur osakaal ja see sõltub oluliselt hoone arhitektuursest lahendusest (aknad, nende päikesetegurid, orientatsioon, varjed jms.). Seda aspekti ei saaks arvestada;
- ei saa adekvaatselt hinnata jahutusvajadust ja sisekliimat. Hoone soojapidavamaks muutes kasvab jahutusvajadus st väheneb kütte kulu kuid kasvab jahutusvajadus. Seda aspekti ei saaks arvestada.

Antud töö autorid on seiskohal, et see stsenaarium ei võta piisavalt arvesse vabasoojuste mõju mitte eluhoonete energiabilansis ja moonutaks liigselt hoone summaarset energiakasutuse väärtust ning seetõttu ei soovitaks seda stsenaariumi realiseerida.

II stsenaarium. Las olla nii kui on ja täiendada määrust (Jätkata olemasoleva kuid oluliselt täiendatud metoodikaga)

Selle stsenaariumi korral jääks kogu tõendamise viis nii nagu on praegu st

- võib kasutada igat tarkvara, mis vastab määruse nõuetele ja akrediteerimist ei nõuta;

- arvutusi võib teostada iga projekteerimisfirma omamata selleks erioskusteta vastutavat spetsialisti.

ja olemasolevat määrust täiendatakse, viiakse määramatus ja tõlgendamisvõimalused väiksemaks ning kohendatakse mõned puudused ja ebatäpsused, sh

- koostatakse oluliselt rohkemate hoone (ruumi) tüüpide jaoks standardkasutus ja vabasoojuste profiile (määruse lisad 2-7);
- defineeritakse lahti mida on mõeldud lisa 19 „Energia vabasoojustes“ all või loobutakse sellest;
- seatakse täpsemad nõuded hoone tsoonideks jagamisele;
- kaalutakse võimalust loobuda suviste temperatuuride kontrolli nõudest ja võetakse jahutusenergia arvutustes alati arvesse;
- defineeritakse üheselt milline on väliskliima baasaasta ja kust seda faili saab (see võib olla ka juhendmaterjal);
- § 20 seatakse tegur x vastavusse hoone kõrgusega, mitte korruste arvuga;
- § 20 tuuakse üheselt välja, et pindala arvutatakse sisemõõtude järgi;
- määruse kohta koostatakse juhendmaterjal, kus on;
 - toodud selgitused ja tõlgendused;
 - toodud näited;
 - käsitletud mõningasi erijuhtumeid nagu näiteks kaubanduskeskused koos külmutuse ja külmutusseadmete vabasoojuste arvesse võtmiseks jms.

Antud stsenaariumi põhilised eelised on:

- formaalselt on EL Energiatõhususe direktiivi nõuded täidetud;
- elluviimine nõuab vähe ressursse;
- tõendamise korras ei toimi erilise muutusi.

ja põhilised puudused on:

- määrus ei täida oma eesmärki ja jätkub senine ebarahuldav olukord;
- arvutustulemused erinevad suurtes piirides;
- protsess pole läbinähtav ja kontrollitav;
- pole võimalik teostada vett pidavat kontrolli tulemuste õigsuse üle;
- kasutatakse määrusele mitte vastavat tarkvara;
- kuna arvutustulemuste kontroll pole vett pidav on oht tulemuste võltsimiseks.

Käesoleva töö autorid ei soovita antud stsenaariumit ellu viia.

III stsenaarium. Võtta miinimumnõuete tõendamiseks kasutusele ainult üks tarkvara

Selle stsenaariumi korral tuleks seadusandlust muuta ja seada tingimuseks, et miinimumnõudeid võib tõendada ainult ühe arvutusprogrammiga. Programm peaks olema kõigile kasutajatele vabavarana kättesaadav. Samuti tuleks määrust muuta/täiendada II stsenaariumis kirjeldatuga.

Põhilisteks eelisteks on:

- kõik kasutavad sama tarkvara ja kaob ära eri programmide iseärasusest tingitud arvutustulemuste suured erinevused;
- arvutustulemuste võrreldavus;
- läbipaistvus;
- hõlbus tulemuste järelkontroll;
- võltsimiste, eksimuste jms kerge avastamine;
- teatud mõõndustega BV2 kasutamise võimalus;
- väikesed kulutused projekteerimisettevõtjatel.

ja põhilisteks puudusteks on:

- vabatarkvara soetamine, mis võib riigile osutada kulukas;
- vabatarkvara on vaja aegajalt ajakohastada, hooldada jne, mis nõuab riigilt rahalisi vahendeid.

BV2 on kavandatud just mitte eluhoonete energiatarbimiste arvutamiseks. Tuginedes sellele teadmisele oli käesoleva projekti üheks eesmärgiks kontrollida, kas BV2 kui riigi poolt soetatud elamute arvutamise tarkvara, on võimalik kasutada ka mitte eluhoonete tarbeks. Paraku tuleb tunnistada, et teostatud kontrollarvutused näitasid, et BV2 ei vastanud osaliselt nendele ootustele. Kuid teatud mõõndustega võiks kaaluda BV2 kasutamist miinimumnõuete tõendamisel.

BV2 kasutamise põhilised eelised oleksid:

- programm on Eestis eesti keelse vabatarkvarana kasutuses;
- programmi soetamiseks poleks vaja riigil teha täiendavaid kulutusi kui uue soetamisel, kuid samas tuleks arvestada mõningaste kulutustega programmi ajakohastamiseks;
- programm on välja töötatud just mitte eluhoonete energiatarbimiste simuleerimiseks;
- programm on suhteliselt lihtne ja kasutajasõbralik;
- programmi on täiendatud ja võimaldab vahetult määrata ka energiatarbimise arvu;
- programm on suhteliselt läbinähtav;
- arvutused on kiired ja tulemused saadakse mõne sekundiga.

ja põhilisteks puudused oleksid:

- kasutab lihtsustatud meetodit;
- on 1 tsooni programm;
- ei vasta osaliselt meie määruse nõuetele nagu näiteks:
 - ei võimalda võtta arvesse varjusid;
 - päikesekiirgus arvutatakse lihtsustatud meetodil st ei arvestata reaaltunnile vastavaid päikesekiirguse parameetreid;
- keerukama konfiguratsiooniga hoonete arvutus on komplitseeritud ja eeldab lihtsustusi, mis paljuski sõltuvad arvutuse teostaja pädevusest ja lähenemisviisist;
- võrreldes teiste käesolevas analüüsis kasutatud programmidega annab BV2 ruumide kütteenergia osas väiksema ja jahutusenergia osas suurema tulemuse;
- ventilatsiooni kütte- ja jahutusenergia arvutamise osas esineb programmis mõningasi puudusi ja need on vaja programmi autorite poolt enne kasutusele võttu parandada;

- ei oma IFC liidest, st ei saa kasutada infovahetust (näiteks hoone geomeetria) teiste näiteks võimeline töötama BIM keskkonnas.

BV2 kasutuselevõtt eeldaks tõsist täiendavat koostööd programmi autoritega ja programmi täiustamist ning määruse muutmist ja vajadusel energiatõhususearvude piirväärtuste korrigeerimist.

Käesoleva töö autorite seiskohast oleks antud stsenaariumi elluviimine kõige eelistatum – sellega tagataks arvutustulemuste läbinähtavus ja võrreldavus.

IV stsenaarium. Lubada kasutada akrediteeritud tarkvarasid ja seada nõuded arvutuste teostajatele

Selle stsenaariumi elluviimine tähendaks määruse muutmist nii, et energiatõhususe miinimumnõuete tõendamiseks kasutatakse ainult akrediteeritud tarkvara ja arvutusi võivad teostada vastavat kutsetunnistust omavad vastutavad spetsialistid. Lisaks tuleks täiendada/muuta määrust II stsenaariumis kirjeldatuga.

IV stsenaariumi korral on sisuliselt tegemist II stsenaariumi edasi arendusega, millega vähendatakse määrusele mittevastava tarkavara kasutamise ja vajaliku oskusteabe puudumisega seotud riske.

Stsenaarium eeldaks, et Eesti loodaks sõltumatu (või volitatakse) institutsioon, kes analüüsib igat arvutusprogrammi, millega soovitakse Eestis tõendada energiatõhususe miinimumnõuetele vastavust ja annab hinnangu, kas antud programm vastab määruse nõuetele ja testarvutuse tulemused jäävad lubatud vea piiridesse. Selleks on vajalik välja töötada akrediteerimise (valideerimise) metoodika.

Vajalike oskustega vastutava spetsialistiks olemise eeltingimuseks võiks olla näiteks kutseeaduse kohase erialase kutsevalifikatsiooni olemasolu. Kutse andmiseks on vaja välja töötada vastav kutsestandard, kutse andmise ja hindamise kord ning leid Kutset andev organisatsioon kuhu juurde moodustataks kutsekomisjon.

Stsenaariumi põhilised eelised on:

- mõningal määral paraneb olemasolev olukord;
- elluviimine ei nõua suuri rahalisi ressursse;
- miinimumnõuete tõendamise metoodikas ei toimi erilise muutusi;
- väheneb risk, et kasutatakse määrusele mitte vastavaid arvutusprogramme;
- väheneb risk, et arvutusi teostavad mitte põdevad isikud ja ettevõtted;
- mõningal määral pareneb kontroll.

ja põhilised puudused on:

- määrus ei täida täiel määral oma eesmärki ja jätkub osaliselt jätkub senini ebarahuldav olukord;
- arvutustulemused erinevad ikka suurtes piirides;

- protsess pole kõige paremini läbinähtav ja kontrollitav;
- pole võimalik teostada vett pidavat kontrolli tulemuste õigsuse üle;
- kuna arvutustulemuste kontroll pole vett pidav on oht tulemuste võltsimiseks;
- vajalik moodustada programmide akrediteerimise institutsioon, mis nõuab nii rahalist kui inimressurssi;
- vajalik leida kutset andev organisatsioon, koostada kutsestandardid, kutse- ja hindamiskomisjonid, mis nõuab nii rahalist kui inimressurssi.

Käesoleva töö autorite seisukohast oleks see stsenaarium eelisuselt teisel kohal.

Hädavalik on vaja saada kiiresti riigipoone otsus ja nägemus edaspidiseks tegevuseks hoonete energiaatõhususe miinimumnõuete tõendamise osas

4.3. BV2 autoritele

Käesoleva analüüsi käigus kerkisid ülesse järgmised tähelepanekud ja küsimused BV2 programmi kohta:

- programmis esineb „veekandjal jahutuse süsteemi“ lähteandmete sisestamisega probleeme. Näiteks õhuvooluhulga ühiku muutmisel võib toimuda arusaamatut käitumist õhuvooluhulga arvvaartusega. Samuti toimub arusaamatusi pärast ventilaatori tööprofiili muutmist – õhuvooluhulga arvvaartus võib see järel muutuda valeks. Kohati esineb ka probleeme soojustagasti varieeruva temperatuuri suhtarvu sisestamisega – mõnikord võib ettearvamatult ära kaduda aktiveerimist tähistav „linnuke“;
- Millega seletada, et BV2 ruumide kütteenergia tarve oli kasutatud võrdlusprogrammide omast üldjuhul oluliselt väiksem ja jahutusenergia oma suurem? Kuivõrd usaldusväärsed on BV2-ga saadud tulemused?
- Suhteline erinevus on soojuse osas päevasel ajal positiivne ja jahutuse osas negatiivne ning öisel ajal pigem vastupidi. See viitab asjaolule, et BV2 lihtsustatud väliskliima lähenemisviis ei pruugi olla kõige adekvaatsem ja võib anda sõltuvalt ventilatsioonisüsteemi ööpäevasest töörežiimist moonutatud tulemusi;
- BV2 jahutus/küttepatarei energia arvutuste osas esineb segadus ja tundub, et süsteemi kadusid (temperatuuri tõusu süsteemis) ei arvutata õieti;
- Ventilatsiooni energiavajaduste määramine (ka jahutuse kuivatus) vajab BV2 autorite poolset täiendavat selgitusi. Ventilatsiooniga seotud küsimusi on käsitletud põhjalikumalt.

Juhul kui otsustatakse ellu viia III stsenaarium tuginedes programmile BV2, tuleks teostada koos BV2 autoritega detailsem analüüs, mis selgitaks välja käesolevas töös toodud probleemid ja annaks nendele adekvaatse vastuse. Ilmselt on vaja tarkvara mõningal määral kohendada. Lähteandmete ja tulemuste väljatrükid peaksid olema määruse lisade 19 ja 20 formaadis.

4.4. Projekteerijatele

Tuginedes läbiviivud uuringule on töö autoritel projekteerijatele järgmised soovitusel ja tähelepanekud:

- Energiatõhususe tõendamise programmi soetamisel tuleb arvestada, et vaatamata müüja väidetele ei pruugi programm vastata Eesti määruse nõuetele;
- Üldjuhul ei vastuta programmi autor (müüja) programmi tulemuste õigsuse eest ja ei võta endale selles osas rahalisi kohtusi. Allpool on toodud illustreerimiseks mõned väljavõtted programmi litsentsidest ja manuaalidest:
 - *Neither EQUA nor its suppliers shall be liable to you or any third party for any indirect, special, incidental, punitive, cover or consequential damages (including, but not limited to, damages for the inability to use equipment or access data, loss of business, loss of profits, business interruption or the like), arising out of the use of, or inability to use, the Software and based on any theory of liability including breach of contract, breach of warranty, tort (including negligence), product liability or otherwise, even if EQUA or its representatives have been advised of the possibility of such damages and even if a remedy set forth herein is found to have failed of its essential purpose.*
Except as set forth in the foregoing limited warranty with respect to software other than any sample application code and trial version, EQUA and its suppliers disclaim all other warranties and representations, whether express, implied, or otherwise, including the warranties of merchantability or fitness for a particular purpose. Also, there is no warranty of non-infringement and title or quiet enjoyment. EQUA does not warrant that the Software is error-free or will operate without interruption. No rights or remedies referred to in article 2a of the Uniform Commercial Code (UCC) will be conferred on you unless expressly granted herein;
 - *StruSoft shall in no event be liable for special, indirect, incidental or consequential damages, such as loss of data, use and profits, downtime costs and capital costs or claim of third party, whether on account of defects, performances, non-performances, delays, personal injuries, property damages or otherwise;.*
 - *Mingil juhul ei vastuta CIT Energy Management ega selle alltarnijad kahjude eest, s h saamatajäänud tulu või sissetuleku, juhuslike kahjude või järelkahjude, informatsiooni kao või muude majandustegevuse häirete eest, samuti mitte mittemateriaalsete väärtuste, nagu imidž või renomee, kaotuse eest, mis võib tekkida BV2 kasutamisel, isegi kui CIT Energy Managementi on informeeritud selliste kahjude tekkimise võimalikkusest, samuti mitte muude osapoolte võimalike nõuete eest.*
- Eri tarkvaradega saadud tulemused võivad erineda vägagi suurtes piirides, halvimal juhul isegi kordades;
- Tänapäevased dünaamilise simulatsiooni programmid on küllaltki keerukad ja nende selgeks õppimiseks kulub vähemalt mitu kuud ning adekvaatsete tulemuste saamiseks on vaja üldjuhul pikaajaline kastuskogemus. Soovitav on koos programmi soetamisega saada ka müüja poolne vähemalt 1-2 päevane koolitus, mis üldjuhul on tasuline

- Tuleb arvestada, et paljudes programmides on kasutatud nn vaikeväärtusi. Neid teadmata/muutmata võib arvutustulemus osutada täiesti vääraks. Mõnedes programmides pole kasutajal võimalik vaikeväärtusi lihtsalt muuta ja lihtsalt hoomata;
- Õigete arvutustulemuste saamisel on äärmiselt oluline nn inimfaktor st spetsialist, kes teostab arvutusi. Spetsialistil peavad lisaks konkreetse arvutusprogrammi tundmisele olema head teoreetilised teadmised modelleerimisest ja hoonete energiabilansist, selle üksikutest komponentidest (arhitektuur, ehitusfüüsika, küte ja ventilatsioon, jahutus, soojavee varustus, sisekliima, elektrivarustus, automaatika jms) ning nende koosmõjust. Lisaks on vaja tunda ka energiatõhususe miinimumnõuete määruse nõudeid, meetodikat, loogikat jms. Ka antud töö raames tuli välja, et vaatamata samadele lähteandmetele ja ühesugusele arvutusprogrammile, erinesid esialgu eri isikute poolt saadud tulemused. Osaliselt oli see tingitud mudelite erinevast ülesehitusest ja määruse erinevast tõlgendamisest, kuid vahel ka isiku oskustest kasutada konkreetset tarkvara;
- Arvutustulemused sõltuvad oluliselt mudeli ülesehitusest nagu näiteks hoone tsoonideks jagamise arvust – vaatamata näiliselt samastele lähteandmetele, võib tulemus sõltuvalt tsoonide arvust erineda kümnetes protsentides.

5 Kokkuvõte

Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr 258 „Energiaatõhususe miinimumnõuded“ kohaselt on vaja uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiaatõhususe miinimumnõuetele vastavust tõendada. Tõendamine eeldab keerulise metoodika ja arvutustarkvara valdamist ja kasutamist.

Antud uurimistöö peamised eesmärgid olid vaadelda, kuidas määruse töölerakendamine on reaalselt toimunud, analüüsides mitte eluhoonetele teostatud energiaarvutusi. Samuti oli projekti eesmärgiks hinnata Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt (esmalt ainult elamute energiaatõhususe miinimumnõuete tõendamiseks) tellitud tarkvara BV2 sobivust ka teiste hoonetüüpide energiaatõhususarvutuste teostamiseks. Uuringu raames võrreldi BV2-te arvutusprogrammidega, mis vastavad määruses nr 258 „Energiaatõhususe miinimumnõuded“ § 36. Lg1 p1-6 ja lg 2 esitatud nõuetele mitte elamute energiaarvutuse teostamiseks.

Kontrollarvutuste raames analüüsiti ehitusregistrist välja valitud 13 mitte eluhoone ehitusloa taotluseks esitatud projektdokumentatsiooni energiaarvutuste vastavust määruse nr 258 nõuetele. Uuringu käigus selgus, et valdav osa esitatud energiaarvutustest on teostatud kas puudulikult, tehtud mitte kvalifitseeruva arvutustarkvaraga või üldse tegemata. Määruse kohast metoodikat oli kasutatud ainult kahel juhul kolmeteistkümnest. Analüüsitud tööde põhjal võib teha üldistuse, et Vabariigi Valitsuse määruse nr 258 20.12.2007.a. „Energiaatõhususe miinimumnõuded“ tööle rakendumisel on märkimisväärsed puudusi ning määrusega seatud eesmärgid on sisuliselt täitmata. Osaliselt on need tingitud määruse keerukusest, kuid samuti probleemidest määruse järgi aktsepteeritava arvutustarkvara kasutamisel. Eesti Vabariigis ei ole olnud institutsiooni(e), kes oleks välja õpetanud vajalikul hulgal määruses aktsepteeritava arvutustarkvara spetsialiste. Arvutusteks aktsepteeritav tarkvara on saadaval vaid võõrkeelsena ning kasutamine äärmiselt keeruline ja eeldab kõrgeid erialaseid teadmisi ning suurt töökogemust. Sageli pole arvutuskäigud ja -tulemused läbipaistvad, mistõttu on energiaarvutuste adekvaatsuse kontroll komplitseeritud.

Arvutustarkvara BV2 võrdlusarvutuse teostasid kokku 9 inimest, hõlmates nii TTÜ õppejõudusi, doktorante kui ka magistrante. Paljudel neist selja taga mitme aasta pikkune kogemus simulatsiooniprogrammidega töötamisel. Vältimaks nn. inimfaktorist tingitud ebatäpsusi arvutustes, teostas iga programmiga arvutusi mitu inimest. Võrdlusarvutused näitasid, et eri arvutusprogrammidega saadi küllaltki suurtes piirides erinevaid tulemusi, kohati erinesid tulemused isegi kordades. Kuna võrdlusarvutuste eri programmide arvutustulemused erinesid liiga suurtes piirides, on võimatu üheselt öelda, kas BV2 on parem, täpsem, adekvaatsem, kui teised programmid. BV2-l on teatud puudusi ja lihtsustusi. Üldjuhul annab BV2 võrdlusprogrammide keskmise suhtes väiksema ruumide kütte energiatarbimise ja jahutuse osas suurema. Teatud mööndustega ja eeldusel, et programmi autorid annavad adekvaatsed selgitused käesolevas töös ülestõstatatud vastuoludele ja probleemidele ning vajadusel korrigeerivad tarkvara, võiks kaaluda BV2 kasutamist energiaatõhususe miinimumnõuete tõendamisel ka mitte eluhoonetele.

Antud töö raames läbiviidud uuringute, analüüsides ja arvutuste põhjal selgus, et Vabariigi Valitsuse määruse nr 258 20.12.2007 „Energiaatõhususe miinimumnõuded“ rakendamisega on Eestis tõsisemaid probleeme ja teostatud analüüsile tuginedes võib öelda, et praktikas määrus ei

toimi ja ei täida püstitatud eesmärki. Eesmärgiga parandada tekkinud olukorda võiks käesoleva töö autorite nägemuse kohaselt lähtuda järgmistest stsenaariumitest:

- I stsenaarium: võtta kasutusele mõni lihtsam meetod;
- II stsenaarium: las olla nii kui on ja täiendada määrust (Jätkata olemasoleva kuid oluliselt täiendatud metoodikaga);
- III stsenaarium: võtta miinimumnõuete tõendamiseks kasutusele ainult üks tarkvara;
- IV stsenaarium: lubada kasutada akrediteeritud tarkvarasid ja seada nõuded arvutuste teostajatele.

Kõigi mainitud stsenaariumite kirjeldus koos eeliste ja miinustega on põhjalikult käsitletud peatükis nr 4. Siinkohal olgu mainitud, et käesoleva töö autorite seiskohast oleks stsenaariumi nr III elluviimine kõige eelistatum – sellega tagataks arvutustulemuste läbinähtavus ja võrreldavus.

5 Summary

According to the regulation 258 “Energy efficiency minimum requirements” issued by the Government of the Republic on December 20 in 2007 it is necessary to prove whether the new and majorly reconstructed buildings meet the minimum requirements. The process of proving requires mastering and using complicated methodology and calculation software.

The purpose of the research was to observe how implementing the regulation has functioned by analysing the energy calculations performed on non-residential buildings and to estimate the suitability of the software BV2 for performing energy efficiency calculations on other types of buildings (non residential buildings). The research compared BV2 to calculation programs that correspond to the requirements of performing calculations on non-residential buildings in regulation 258 “Energy efficiency minimum requirements” § 36 Lg1 p1-6 and lg 2.

The research showed that major part of the energy calculations had been carried out insufficiently, with non-qualifying calculation software or had not been completed at all. Methodology that meets the requirements of the regulation had been used only on two times out of thirteen. According to the analysed documents it can be concluded that implementing the regulation 258 “Energy efficiency minimum requirements” issued by the Government of the Republic on 20.12.2007 has considerable shortcomings and the aims stipulated in the regulation have been substantially uncompleted. The shortcomings are partly a consequence of the complexity of the regulation but occur also due to problems in using the calculation software required according to regulation. Estonian Republic lacks institutions that would educate a sufficient amount of specialists of the calculation software required according to the regulation. The calculation software is available only in foreign language and the using of it is extremely complicated, expecting very specific knowledge and sufficient prior experience. The process and the result of the calculations are often non-predictable and therefore controlling the adequacy of the energy calculations is complicated.

The comparing calculations of the calculation software BV2 were carried out by 9 people, among them academics, PhD candidates and post-graduates of Tallinn University of Technology. A number of them have long experience in working with the simulation programs. Calculations with each program were performed by several people in order to avoid inaccuracies. The comparing calculations showed that different programs gave quite different results. In some cases the results different even in many times. Due to the fact that the results differed to such an extent it is hard to claim whether BV2 is better, more accurate and adequate than other programs. BV2 has certain shortcomings and simplifications. In most cases the results of BV2 give a lower number of the energy used for heating and a higher number for refrigerating spaces than the average result of compared programmes. In order to use BV2 for proving whether the energy efficiency requirements have been met in non-residential buildings, a few concession have to be made such as presenting clear and adequate overviews of the contradictions and problems in the work in question and if needed also correcting the software.

According to the researches, analyses and calculations carried out for this work, it appeared that there are serious problems with implementing the regulation 258 “Energy efficiency minimum requirements” issued by the Government of the Republic on 20.12.2007 in Estonia and relying on

the analysis, it can be stated that the regulation fails to put itself in practice, neither does it fulfil the posed purposes. In order to enhance the situation, the authors of the work in question have proposed the following scenarios:

- Scenario I: to impement an easier method;
- Scenario II: to continue using the already existent method, required that is significantly improved;
- Scenario III: to use only one specific software in order to prove the minimum requirements;
- Scenario IV: to allow the use of accredited software and to impose requirements on the people performing the calculations.

The advantages and disadvantages of all the mentioned scenarios have been thoroughly discussed in chapter 4. Hereby it should be mentioned that the authors of the work in question would prefer the scenario III for it would provide the predictability and the comparability of the calculations.

Kirjandus

- [1] Vabariigi Valitsuse määrus nr 258 20.12.2007.a. „Energiatõhususe miinimumnõuded“.
- [2] Tanel Tamme, 2009, Tallinna Tehnikaülikool, magistri lõputöö „Erinevate energiakulu arvutusprogrammide analüüs ja testimine BESTEST meetodil“
- [3] BV2 Kasutusmanual
- [4] Riuska Kasutusmanual
- [5] VIP energy Kasutusmanual
- [6] BSim Kasutusmanual
- [7] IDAice Kasutusmanual
- [8] T.Tark; I. Raide. „The Influence of Calculation Zones for Finding Out Annual Net Heating Energy of Office Buildings by Using Dynamical Simulation“. Clima 2010 – 10th REHVA World Congress 9-12 May 2010, Antalya-Turkey
- [9] International Energy Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method for Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Equipment Models (HVAC BESTEST) Volume 1: Cases E100–E200